

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

***В. Г. Доброногов
І. О. Мікульонок***

ЗАСТОСУВАННЯ КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ, ЖАРОСТІЙКИХ, ЖАРОМІЦНИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ У ХІМІЧНОМУ МАШИНО- ТА АПАРАТОБУДУВАННІ

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України
як навчальний посібник для студентів вищих технічних навчальних закладів*

Київ
НТУУ «КПІ»
2011

УДК 66.02:669.018(075.8)
д. 669.018(075.8)
ББК 35.11-5я73
Д56

*Гриф надано Міністерством освіти і науки,
молоді та спорту України
(Лист № 1/11-8747 від 22 вересня 2011 р.)*

Рецензенти:

О. М. Гавва, д-р техн. наук, професор,
професор кафедри технічної механіки і пакувальної техніки
Національного університету харчових технологій

В. М. Бондаренко, канд. техн. наук,
Заступник технічного директора – начальник Спеціального конструкторського бюро
полімерного машинобудування (СКБполімермаш) ПАТ «НВП „Більшовик”»

Відповідальний редактор
Є. М. Панов, д-р техн. наук, проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Доброногов В. Г.

Д56 Застосування корозійностійких, жаростійких, жароміцних сталей і сплавів у хімічному машино- та апаратобудуванні [Текст] : навч. посіб. / В. Г. Доброногов, І. О. Мікульонок. – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – 264 с. – Бібліогр.: с. 256–260. – 300 пр.

ISBN 978-966-622-449-4

Викладено фізико-хімічні основи корозійної стійкості корозійностійких сталей і сплавів та механізмів їх корозійного руйнування. Показано роль структурних факторів, легувальних і домішкових елементів у формуванні властивостей корозійностійких сталей і сплавів. Наведено показники корозійної стійкості сталей і сплавів у різноманітних середовищах різних концентрацій у широких діапазонах робочих температур, оптимальні режими термічного оброблення, методи видалення окалини, механічні властивості сталей. Викладено рекомендації щодо застосування неіржавких сталей і сплавів залежно від умов експлуатації. Подано перелік нормативних документів, якими встановлюються марки, сортамент прокату та типи виливків із неіржавких сталей і сплавів. Наведено стандартні методи контролю сталей і сплавів на схильність до міжкристалітної корозії.

Для студентів інженерних спеціальностей вищих навчальних закладів.

УДК 66.02:669.018(075.8)
д. 669.018(075.8)
ББК 35.11-5я73

ISBN 978-966-622-449-4

© В. Г. Доброногов,
І. О. Мікульонок, 2011
© НТУУ «КПІ» (ІХФ), 2011

ВСТУП

Метали є і надалі залишатимуться основними конструкційними матеріалами під час створення нового устаткування та переозброєння застарілих виробництв.

У міру нагромадження металевого фонду підвищуються витрати на його захист від корозії. Ці витрати особливо відчутні в тих галузях економіки, у яких металоконструкції контактують з агресивними компонентами – кислотами, лугами та їх похідними, а також з газами за високих температур.

Підвищену агресивність мають і природні середовища, наприклад, морська вода та її атмосфера, продукти газоконденсатних родовищ з умістом сірководню та вуглецевої кислоти, термальні води з високою концентрацією солей і галоїдних іонів. Через ці обставини в хімічній, целюлозно-паперовій, газонафтовидобувній, харчовій, поліграфічній, легкій галузях промисловості, у виробництві побутових пристроїв, у вантажному залізничному та водному транспорті застосовують неіржавкі сталі та хімічно стійкі сплави. Це дозволяє створювати технологічне та транспортне устаткування високої надійності в разі тривалих строків експлуатації без додаткових захисних покриттів металоконструкцій.

Конструювання, виготовлення та експлуатація такого устаткування потребує ґрунтовної підготовки інженерів-механіків та інженерів-технологів у галузі матеріалознавства, зокрема поглибленого вивчення технологічних та експлуатаційних властивостей корозійностійких, жаростійких і жароміцних сталей і сплавів, що контактують з різноманітними агресивними середовищами за підвищених тисків і температур.

Автори щиро вдячні Борисові Борисовичу Булгакову та Вадимові Валентиновичу Голубцову за допомогу в оформленні рукопису посібника.

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ

α – коефіцієнт відносного лінійного температурного розширення;
 γ – питома маса;
 δ – відносне здовження під час розтягування;
 λ – коефіцієнт теплопровідності;
 ρ – густина;
 τ – час;
 ψ – відносне звуження під час розтягування;
 $\sigma_{0,2}$ – умовна границя плинності під час розтягування – напруження, за якого залишкова деформація складає 0,2 %;
 σ_B – тимчасовий опір під час розтягування;
 $\sigma_{кр}$ – границя тривалої корозійної міцності під час розтягування;
 c – масова теплоємність;
 $t_{вип}$ – температура випробування;
 $t_{кип}$ – температура кипіння;
 $\nu_{ок}$ – швидкість окиснення за високих температур;
 $\nu_{кор}$ – швидкість корозії;
 E – модуль поздовжньої пружності;
 $M_{кр}$ – максимальний крутний момент під час випробувань на скручування;
НВ – твердість за Брінелем;
HRB – твердість за Роквелом, шкала В;
HRC – твердість за Роквелом, шкала С,
KCU – ударна в'язкість (зразок з надрізом типу U);
KCV – ударна в'язкість (зразок з надрізом типу V);
МКК – міжкристалітна корозія;
ТК – точкова корозія.

Методи виплавляння корозійностійких сталей:

ВД – з вакуумно-дуговим переплавом;
ВИ – у вакуумній індукційній печі;
ОИ – у відкритій індукційній печі;
ПД – з плазово-дуговим переплавом;
ЭШ – з електрошлаковим переплавом.

1. КОРОЗІЙНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЧИСТИХ МЕТАЛІВ

Корозія (від лат. «corrodere» – роз’їдати, руйнувати) металів – руйнування металів під впливом хімічної або електрохімічної дії середовища, що контактує з ними.

Корозійні процеси відбуваються на межі метал–середовище, а їх результатом є перехід атомів металу кристалічної ґратки до іонного стану, тобто утворення розчинних сполук типу оксидів, гідроксидів або більш складних комплексних сполук металу.

До хімічної (поверхневої) корозії належить безпосередня взаємодія між атомами металу та газовими або рідкими неелектропровідними середовищами (неелектролітами). Найрозповсюдженішим видом хімічної корозії є окиснення металів киснем або їх взаємодія з хімічно активними газами (сірчистий газ, сірководень, галоїди, водяна пара, диоксид вуглецю і т.ін.) за підвищених температур.

Від газової корозії суттєво руйнуються лопатки газових турбін, сопла реактивних двигунів, елементи електродвигунів, колосники та арматура печей, а також втрачається багато металу у вигляді ковальської, прокатної окалини та окалини, що виникає під час термічного оброблення.

Електрохімічна корозія – найбільш поширений вид корозії. У хімічно активних технологічних середовищах, а також морських і ґрунтових водах, у повітряній атмосфері метали та їх сплави кородують за електрохімічним механізмом. Унаслідок мікронеоднорідності, недовершеності кристалічної ґратки металу та інших факторів на металевій поверхні, що контактує з агресивним середовищем, (а часом і вглибині металевого масиву) утворюються дві самостійні, але сполучені анодні та катодні ділянки, між якими виникає електричний струм. На анодних ділянках атоми металу переходять у розчин.

Корозія металів, зокрема неіржавких сталей і кислотостійких сплавів, у більшості хімічних середовищ відбувається за електрохімічним механізмом. Варто зазначити, що в окремих природних і технологічних умовах корозійне руйнування відбувається одночасно за хімічним та електрохімічним механізмами.

Сучасний розвиток технологій потребує застосування корозійностійких матеріалів, а саме – чистих металів та їх сплавів. За основну кінетичну характеристику їх хімічного або електрохімічного руйнування прийнято швидкість (проникність) корозії, яка визначається через зменшення товщини листа в міліметрах за рік. Оскільки водночас можуть діяти різні механізми корозії, для визначення її загального результату часто користуються іншим показником – втратою маси зразка металу за певний проміжок часу, віднесеною до одиниці площі, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{рік})$. Обидва показники інтенсивності корозії пов’язані між собою залежністю

$$П = 10^{-6} \frac{K}{\rho},$$

де $П$ – проникність корозії, мм/рік; K – втрата маси металу, кг/(м²·рік); ρ – густина металу, кг/м³.

Для оцінювання корозійної стійкості одного і того ж металу в різних середовищах користуються десятибальною шкалою, наведеною в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Десятибальна шкала корозійної стійкості сталей

Група стійкості	Швидкість корозії металу, мм/рік	Бал
Абсолютно стійкі	До 0,001	1
Достатньо стійкі	Понад 0,001 до 0,005 Понад 0,005 до 0,01	2
Стійкі	Понад 0,01 до 0,05 Понад 0,05 до 0,1	4
Знижено стійкі	Понад 0,1 до 0,5 Понад 0,5 до 0,1	6
Мало стійкі	Понад 0,1 до 5,0 Понад 5,0 до 10,0	8
Нестійкі	Понад 10,0	10

Прийнята шкала забезпечує однаковий підхід до оцінювання корозійної стійкості металів та їх сплавів.

Корозійні властивості сплавів залежать від корозійних властивостей чистих металів, які визначаються однією з таких умов.

1. Метал корозійностійкий внаслідок своєї термодинамічної стабільності. Ступінь термодинамічної стабільності металів у корозійних середовищах задовільно корелює з величиною їх стандартних електродних потенціалів, тобто потенціалів, які виникають під час занурюванні металів у розчин їх солей, що містять один грам-іон цих металів в одному літрі розчину. Значення стандартних електродних потенціалів наведено в табл. 1.2.

До металів з низькою термодинамічною стійкістю належать літій, магній, цинк, алюміній, титан, цирконій, ванадій, ніобій, хром, марганець, залізо та інші, які мають стандартний потенціал, менший за мінус 0,414 В. Перелічені метали кородують у нейтральних середовищах, навіть у таких, що не містять кисню.

Металами з недостатньою термодинамічною стійкістю є кадмій, талій, олово, свинець, молібден, кобальт і нікель, у котрих стандартний електродний потенціал становить від мінус 0,414 до 0,0 В. Ці метали кородують у нейтральних середовищах лише за наявності кисню. У кислих середовищах корозія спостерігається за відсутності кисню або окисників.

Підвищену термодинамічну стійкість мають мідь, срібло, сурма та вісмут, стандартний електродний потенціал яких перебуває в межах 0,0...0,815 В. Вони кородують у кислих і нейтральних середовищах за наявності кисню.

Таблиця 1.2. Стандартні електродні потенціали металів у водних розчинах за температури 25 °С

Метал	Електрод	Потенціал, В	Метал	Електрод	Потенціал, В
Калій	K/K ⁺	-2,92	Нікель	Ni/Ni ²⁺	-0,23
Барій	Ba/Ba ²⁺	-2,90	Олово	Sn/Sn ²⁺	-0,14
Кальцій	Ca/Ca ²⁺	-2,87	Свинець	Pb/Pb ²⁺	-0,13
Натрій	Na/Na ⁺	-2,71	Водень	1/2H ₂ /H ⁺	0,00
Магній	Mg/Mg ²⁺	-2,36	Олово	Sn/Sn ⁴⁺	+0,007
Алюміній	Al/Al ³⁺	-1,66	Вісмут	Bi/Bi ³⁺	+0,21
Титан	Ti/Ti ²⁺	-1,63	Сурма	Sb/Sb ³⁺	+0,24
Титан	Ti/Ti ³⁺	-1,21	Мідь	Cu/Cu ²⁺	+0,34
Марганець	Mn/Mn ²⁺	-1,18	Мідь	Cu/Cu ⁺	+0,52
Хром	Cr/Cr ²⁺	-0,91	Ртуть	Hg/Hg ⁺	+0,79
Хром	Cr/Cr ³⁺	-0,74	Ртуть	Hg/Hg ²⁺	+0,85
Цинк	Zn/Zn ²⁺	-0,76	Срібло	Ag/Ag ⁺	+0,80
Залізо	Fe/Fe ²⁺	-0,44	Паладій	Pd/Pd ²⁺	+0,99
Залізо	Fe/Fe ³⁺	-0,37	Платина	Pt/Pt ²⁺	+1,88
Кадмій	Cd/Cd ²⁺	-0,40	Золото	Au/Au ⁺	+1,50
Індій	In/In ³⁺	-0,34	Золото	Au/Au ³⁺	+1,69
Кобальт	Co/Co ²⁺	-0,28			

Золото, іридій, паладій, платина, стандартний електродний потенціал яких більший за 0,815 В, є металами з високою термодинамічною стійкістю. Ці метали можуть кородувати за наявності кисню або окисників.

2. Метал (Me) стійкий внаслідок пасивного стану. Багато металів у аерованих розчинах, азотній кислоті та інших окисниках перебувають у пасивному стані. Найбільшою мірою така властивість належить хрому, титану, алюмінію, танталу, ніобію, нікелю, магнію та залізу.

Завдяки пасивації на поверхні металів утворюються захисні плівки товщиною декілька атомів кисню. Така тонка поверхнева плівка з високою електронною, але з низькою іонною провідністю вибірно гальмує процес анодного розчинення металу.

Пасивний стан металів може порушуватись за наявності активних іонів F⁻, Cl⁻, Br⁻ або у відновних середовищах. При цьому відбувається витиснення кисню з утворенням розчинної сполуки, наприклад, $Me + 2Cl \rightarrow MeCl + 2e$.

3. Метал (Me) стійкий внаслідок виникнення малорозчинного та достатньо щільного шару із продуктів корозії. Як приклад можна навести порівняно високу корозійну стійкість заліза в розчині фосфорної кислоти або молибдену в соляній кислоті. Утворення покривних захисних плівок при цьому відбувається внаслідок сполучення аноднорозчинних іонів металу з аніонами розчину, наприклад



Утворені таким чином продукти реакцій можуть виділятися на поверхні металу у вигляді досить товстих і часто видимих шарів.

4. Метал стійкий внаслідок відсутності в ньому домішок, які утворюють ефективні катоди. Як приклад цього можна навести відносно високу, порівняно з чавуном, стійкість чистого заліза в розчині H_2SO_4 . Швидкість корозії чистих металів у цих умовах збільшується в разі забруднення домішками інших металів з більш низьким перенапруженням водню. Таке ж явище підвищеної швидкості корозії спостерігається в результаті введення в агресивний розчин іонів більш благородних металів.

Приблизну характеристику корозійної стійкості деяких металів Періодичної системи Д. І. Менделєєва в шести середовищах за кімнатної температури показано на рис. 1.1, а в чотирьох киплячих кислотах – на рис. 1.2. З аналізу цих рисунків випливає, що швидкість корозії металів залежить від температури нагрівання кислоти. Наприклад, берилій, алюміній, залізо, осмій, кобальт, нікель в азотній кислоті за кімнатної температури стійкі, а в киплячих розчинах сильно кородують. Подібним чином поведуть себе в сірчаній кислоті мідь, індій, германій, цирконій, олово, свинець, ніобій, молібден, вольфрам, залізо та нікель, а саме, метали в розчинах сірчаної кислоти за кімнатної температури стійкі, а в киплячих розчинах інтенсивно кородують. Срібло, олово, ніобій, сурма, осмій у соляній кислоті за кімнатної температури стійкі, а в киплячих розчинах швидко розчинюються.

Характеристики корозійної стійкості деяких чистих металів залежно від виду агресивного середовища показано на рис. 1.2. Слід взяти до уваги, що під час розроблення нових сплавів практичний інтерес становлять тугоплавкі метали.

В азотній кислоті (рис. 1.2, *а*) тантал, ніобій, цирконій, титан і вольфрам за кімнатної температури та концентрації до 70 % є стійкими. Однак з підвищенням температури швидкість корозії цих металів, за винятком титану, залишається низькою. Титан під час нагрівання в кислоті до 190 °С за концентрації 25...55 % кородує зі швидкістю, більшою за 2 мм/рік.

Тантал, ніобій і цирконій в азотній кислоті навіть за температури 250 °С є стійкими. Молібден і ванадій у азотній кислоті та в інших окиснювальних середовищах – нестійкі метали.

У киплячій сірчаній кислоті майже всіх концентрацій (рис. 1.2, *б*) тантал має високу стійкість. Інші тугоплавкі метали, наприклад молібден і цирконій, стійкі в сірчаній кислоті концентрацією до 60 %, а вольфрам – до 40 %. Ванадій у киплячій сірчаній кислоті – нестійкий метал.

У соляній кислоті (рис. 1.2, *в*) тантал, вольфрам, молібден і цирконій під час кипіння в інтервалі всіх концентрацій є стійкими металами. Під час нагрівання кислоти до 190 °С тантал, вольфрам і молібден також стійкі. Наведені метали при цьому кородують зі швидкістю 0,25...0,50 мм/рік.

Цирконій стійкий у соляній кислоті, нагрітій до 190 °С за концентрації до 10 %, а ніобій – до 5 %. Ванадій і титан у киплячій соляній кислоті – нестійкі метали.

		Г Р У П И Е Л Е М Е Н Т І В									
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
І Д О І Р Е П	1							1 H 1,008			
	2	3 Li 6,940	4 Be 9,02	5 B 10,82	6 C 12,010	7 N 14,008	8 O 16,000	9 F 19,00			
	3	11 Na 22,997	12 Mg 24,32	13 Al 26,97	14 Si 28,06	15 P 30,98	16 S 32,06	17 Cl 35,457			
	4	19 K 39,096	20 Ca 40,08	21 Sc 45,10	22 Ti 47,90	23 V 50,95	24 Cr 52,01	25 Mn 54,93	26 Fe 55,85	27 Co 58,94	28 Ni 58,69
		29 Cu 63,57	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,60	33 As 74,91	34 Se 78,96	35 Br 79,916			
	5	37 Rb 85,48	38 Sr 87,63	39 Y 88,92	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,95	43 Tc [99]	44 Ru 101,7	45 Rh 102,91	46 Pd 106,7
		47 Ag 107,88	48 Cd 112,47	49 In 114,76	50 Sn 118,70	51 Sb 121,76	52 Te 127,61	53 J 126,92			
ІІ	6	55 Cs 132,91	56 Ba 137,36	57 La 138,92	72 Hf 178,6	73 Ta 180,88	74 W 183,92	75 Re 186,31	76 Os 190,2	77 Ir 193,1	78 Pt 195,28
		79 Au 197,2	80 Hg 200,61	81 Tl 204,39	82 Pb 207,21	83 Bi 209,00	84 Po [210]	85 At [211]			
	7	87 Fr [223]	88 Ra 226,05	89 Ac [227]	90 Th 232,12	91 Pa 231	92 U 238,07	93 Np [237]	94 Pu [239]	95 Am [241]	96 Cm [242]

 1
  2
  3
 ● 4
 ○ 5
 ⊗ 6
 ⊕ 7
 ⊖ 8
 ⊙ 9

Рис. 1.1. Приблизна характеристика корозійної стійкості чистих металів у різних середовищах (наведені дані отримано до випробувань за кімнатної температури і середніх або підвищених концентрацій кислот і лугів): 1 – благородні метали; 2 – метали, що легко пасивуються; 3 – дуже нестійкі; 4 – стійкі в азотній кислоті; 5 – стійкі в сірчаній кислоті; 6 – стійкі в соляній кислоті; 7 – стійкі в органічних кислотах; 8 – стійкі в лугах; 9 – стійкі в аерованому розчині NaCl

ПЕРІОДИ	РЯДИ	Г Р У П П И Е Л Е М Е Н Т И В									
		I R ₂ O	II RO	III R ₂ O ₃	IV RH ₄ RO ₂	V RH ₃ R ₂ O ₅	VI RH ₂ RO ₃	VII RH R ₂ O ₇	VIII RO ₄		
1	I	H						(H)			
2	II	Li ³	Be ⁴ ○ △ □	⁵ B ○ △	⁶ C	⁷ N	⁸ O	⁹ F			
3	III	Na ¹¹	Mg ¹² ○ △ □ ◇	¹³ Al ○ △ □ ◇	¹⁴ Si	¹⁵ P	¹⁶ S	¹⁷ Cl			
4	IV	K ¹⁹	Ca ²⁰	Sc ²¹ ○ △ □ ◇	Ti ²² ● △ □ ◇	V ²³ ○ △ □ ◇	Cr ²⁴ ● △ □ ◇	Mn ²⁵ ○ △ □	Fe ²⁶ ○ △ □ ◇	Co ²⁷ ○ △ □ ◇	Ni ²⁸ ○ △ □ ◇
	V	²⁹ Cu ○ △ □ ◇	³⁰ Zn ○ △ □ ◇	³¹ Ga ● □	³² Ge ○ △ ■	³³ As ○ ■	³⁴ Se	³⁵ Br			
5	VI	Rb ³⁷	Sr ³⁸	Y ³⁹ ○ △ □ ◇	Zr ⁴⁰ ● △ ■ ◇	Nb ⁴¹ ● △ □ ◇	Mo ⁴² ○ △ ■ ◇	Tc ⁴³	Ru ⁴⁴ ● ▲ ■ ◇	Rh ⁴⁵ ● ▲ ■ ◇	Pd ⁴⁶ ○ △ ■ ◇
	VII	⁴⁷ Ag ○ △ □ ◇	⁴⁸ Cd ○ △ □ ◇	⁴⁹ In ○ △ □	⁵⁰ Sn ○ △ □ ◇	⁵¹ Sb ○ □	⁵² Te	⁵³ J			
6	VIII	Cs ⁵⁵	Ba ⁵⁶	La ⁵⁷ 58 - 71	Hf ⁷²	Ta ⁷³ ● △ ■ ◇	W ⁷⁴ ● △ ■ ◇	Re ⁷⁵ ○ ▲ ■	Os ⁷⁶ ○ ▲ □ ◇	Ir ⁷⁷ ● ▲ ■ ◇	Pt ⁷⁸ ● ▲ ■ ◇
	IX	⁷⁹ Au ● ▲ ■ ◇	⁸⁰ Hg ○ △	⁸¹ Tl ○ △ ■	⁸² Pb ○ △ □ ◇	⁸³ Bi ○ ◇	⁸⁴ Po	⁸⁵ At ● ■			
7	X	Fr ⁸⁷	Ra ⁸⁸	Ac ⁸⁹ 90 - 103					● ○ <i>a</i> ▲ △ <i>б</i> ■ □ <i>в</i> ◇ ◇ <i>г</i>		

Рис. 1.2. Приблизна характеристика корозійної стійкості чистих металів під час випробування в киплячих кислотах (темні позначки – стійкі метали, світлі – нестійкі): *a* – HNO₃; *б* – H₂SO₄; *в* – HCl; *г* – H₃PO₄

У киплячій фосфорній кислоті (рис. 1.2, з) тантал, вольфрам і молібден є стійкими металами, цирконій стійкий за концентрації до 40 %, титан і ванадій у киплячій фосфорній кислоті нестійкі, а молібден, вольфрам і особливо тантал за температури 190 °С досить стійкі. Швидкість корозії при цьому становить 0,25...0,50 мм/рік.

Ніобій і тантал у відновних середовищах (HCl, H₂SO₄, H₂P₃O₅) стають крихкими внаслідок значного поглинання водню (воднева крихкість). Тому, застосовуючи ніобій під час корозійного процесу з виділенням водню, належить уникати контакту з металами, в парі з якими ніобій і тантал будуть катодами.

2. КОРОЗІЙНОСТІЙКІ, ЖАРОМІЦНІ, ЖАРОСТІЙКІ НЕІРЖАВКІ СТАЛІ І СПЛАВИ

Неіржавкими сталями називають корозійностійкі сплави на основі заліза та хрому, які містять вуглець і легувальні елементи – нікель, молібден, марганець, вольфрам, ванадій, титан, мідь та ін*. Неіржавкі сталі обов'язково містять хром, головним чином у твердому розчині в залізі. У таких сталях уміст заліза більший за 45 %, а вміст легувальних елементів не менший від 10 %, рахуючи по верхній границі, при вмісті одного з елементів не менше від 8 % по нижній границі.

В елементарних комірках, з яких складаються кристали заліза, атоми розташовані в певному порядку. Цей порядок розташування змінюється залежно від температури нагрівання. За будь-якої температури нагрівання, нижчої за 910 °С, вісім атомів заліза розміщуються по кутах кубічної ґратки, а один – у її центрі (рис. 2.1, а). Залізо з такою ґраткою називається α -залізом. Під час нагрівання понад 910 °С відбувається перегрупування атомів, і кристалічна ґратка являє собою куб з чотирнадцятьма атомами. Цю алотропічну форму називають γ -залізом (рис. 2.1, б). За температури, вищої за 1390 °С, ґратка γ -заліза перебудовується в ґратку з дев'ятьма атомами, яку називають ґраткою δ -заліза. Вона відрізняється від α -заліза дещо більшими відстанями між центрами атомів і зберігається до моменту розплавлення заліза, тобто до 1535 °С.

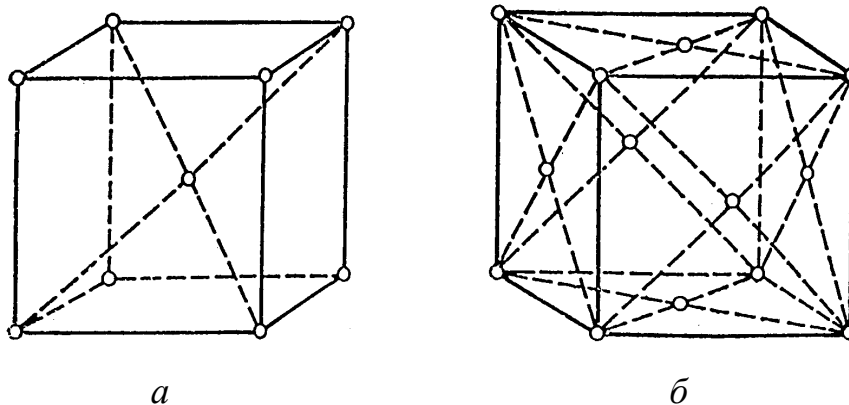


Рис. 2.1. Кристалічна ґратка: а – α - і δ -заліза; б – γ -заліза

Найважливішими структурами неіржавких сталей є:

- а) тверді розчини на основі заліза з умістом вуглецю, хрому та інших легувальних елементів, які мають просторову ґратку α -заліза (ферит);
- б) тверді розчини на основі заліза з умістом вуглецю, хрому та інших легувальних металів, що мають просторову ґратку γ -заліза (аустеніт);

* Неіржавкими називають сталі, які містять (масова частка) не більше за 1,2 % вуглецю і не менше від 10,5 % хрому (ДСТУ EN 10020–2002).

в) продукти часткового або повного розпаду твердих розчинів, складні карбіди з умістом хрому, неметалеві вкраплення.

До елементів, які сприяють утворенню з залізом твердого фериту (α -розчин), окрім хрому, належать молібден, титан, ніобій, кремній, алюміній.

Елементами, що додають до заліза для розширення ділянки твердого розчину аустеніту (γ -розчин), є нікель, марганець, кобальт. Вони утворюють із залізом безперервний ряд твердих розчинів. Вуглець, азот, мідь також є аустенітотвірними елементами, але вони обмежують ділянку твердого γ -розчину внаслідок виділення надлишкової фази.

Властивості елементів розширювати або звужувати γ -ділянку використовуються в практиці для отримання сплавів із заданими властивостями. Додаючи до сплаву залізо–вуглець аустенітотвірні елементи, можна розширити γ -ділянку і зберегти її за кімнатної температури. Унікальні властивості аустенітної структури полягають у високій пластичності і хорошій зварності, крім того аустеніт немагнітний.

Уведення до сплаву залізо–вуглець феритотвірних елементів, які обмежують γ -ділянку, дає змогу залежно від кількості цих елементів отримати проміжні структури, починаючи від мартенситного (пересиченого розчину вуглецю в α -залізі) і закінчуючи феритом.

Таким чином, неіржавкі сталі, що застосовуються в техніці, мають складну структуру. Найважливішими структурними складовими неіржавких сталей, що визначають їх корозійну стійкість, є тверді розчини в залізі з умістом значної кількості хрому. Чим ближча структура до однорідного твердого розчину, тим вища її корозійна стійкість. Порушення однорідності структури призводить до зниження корозійної стійкості неіржавких сталей.

Сплави корозійностійкі, жаростійкі та жароміцні виплавляють на залізонікелевій і на нікелевій основах.

До сплавів на залізонікелевій основі належать сплави, структура яких головним чином є розчином хрому та інших легувальних елементів у залізонікелевій основі (сума нікелю та заліза не більша від 65 % за співвідношення нікелю до заліза 1:1,5).

До сплавів на нікелевій основі належать сплави, головною структурою яких є твердий розчин хрому та інших легувальних елементів у нікелевій основі (уміст нікелю не менший від 55 %).

За рубежем поширені окалиностійкі та жароміцні сталі на кобальтовій основі з хромом, нікелем, вольфрамом, ніобієм, молібденом, вуглецем.

Шкідливими для жаростійких сталей і сплавів є сірка, свинець, вісмут, олово, сурма, кисень і водень, які у вигляді домішок залишаються від сировини, або утворюються в результаті хімічних реакцій у плавильних печах. Ці домішки погіршують технологічні властивості й особливо жароміцність і пластичність. Для ніхромових і кобальтових сплавів особливо шкідливими є на-

явність сірки понад 0,05 % та сліди свинцю, олова і сурми.

Жароміцність визначається не тільки хімічним складом сплавів, але й формою, яку домішка має в сплаві. Наприклад, зовсім небайдуже, чи має сірка вигляд сульфідів нікелю з дуже низькою температурою плавлення, чи вигляд сульфідів і сірчистих сполук з цирконієм, церієм, магнієм – елементами, що утворюють тугоплавкі сполуки. За наявності в металі сульфідів нікелю різко послаблюються границі зерен, що призводить до втрати жароміцності, причому тим більше, чим вища температура.

Чистота нікелю, хрому та нікельтитанистої лігатури по шкідливих домішках справляє суттєвий вплив на жароміцність, при цьому властивості сплавів залежать не тільки від початкових матеріалів, а й від технології виплавлення сплавів.

Жароміцні властивості значною мірою визначаються структурним станом сплаву, розміром зерна, формою, у якій перебувають у сплаві зміцнювальні фази, їх зв'язки з твердим розчином.

Згідно з ГОСТ 5632–72 [6] залежно від основних властивостей високолеговані сталі та сплави поділяють на групи:

1 – корозійностійкі (неіржавкі сталі та сплави, що мають стійкість проти електрохімічної та хімічної корозії – атмосферної, ґрунтової, лужної, сольової, міжкристалітної корозії, корозії під напруженням та ін.);

2 – жаростійкі (окалиностійкі) сталі та сплави, що мають стійкість проти хімічного руйнування поверхні в газових середовищах за температури понад 550 °С та експлуатуються в ненавантаженому або слабонавантаженому стані;

3 – жароміцні сталі та сплави, здатні експлуатуватися в навантаженому стані за високих температур протягом визначеного часу і при цьому мають достатню жаростійкість.

Залежно від структури сталі поділяються на класи:

- мартенситний – сталі з основною структурою мартенситу;
- мартенситно-феритний – сталі, що мають, крім мартенситу, не менше від 10 % фериту;
- аустенітно-мартенситний – сталі, що мають структуру аустеніту та мартенситу, кількість яких може змінюватись у широких межах;
- аустенітно-феритний – сталі, що мають структуру аустеніту та фериту (фериту не більше за 10 %;
- аустенітний – сталі, що мають структуру аустеніту.

Найменування марок сталей складається з позначення літерами легувальних хімічних елементів і наступних за ними цифр. Цифри, що стоять після літер, вказують середній відсоток легувального елемента в цілих одиницях (за винятком елементів, наявних у сталях у малих кількостях). Цифри перед літерами (на початку позначення) вказують середній або максимальний (за відсутності нижньої границі) уміст вуглецю в сталі в сотих частках проценту.

Найменування марок спеціальних сплавів складається лише із позначень хімічних елементів відповідними літерами за винятком нікелю, після якого вказують його середній уміст у відсотках.

Хімічні елементи в марках сталей і сплавів позначають такими літерами:

А – азот; Д – мідь; Н – нікель; Ф – ванадій;
 Б – ніобій; Е – селен; Р – бор; Х – хром;
 В – вольфрам; К – кобальт; С – кремній; Ц – цирконій;
 Г – марганець; М – молібден; Т – титан; Ю – алюміній.

У табл. 2.1 наведено розподіл вітчизняних неіржавких сталей і сплавів по класах і групах згідно з ГОСТ 5632–72 (з 01.01.1976 р. сталі марок 15Х5, 15Х5М, 15Х5ВФ, 12Х8ВФ вилучені з ГОСТ 5632–72 і включені до ГОСТ 20072–74).

Таблиця 2.1. Розподіл вітчизняних неіржавких сталей і сплавів за класами і групами

Номер марки	Марка сталі або сплаву		Групи		
	Нове позначення	Попереднє позначення	I (корозій- ностійка)	II (жаростій- ка)	III (жаро- міцна)
СТАЛІ					
1. Сталі мартенситного класу					
1-5	40Х9С2	4Х9С2	–	++	+
1-6	40Х10С2М	4Х10С2М, ЭИ107	–	++	+
1-7	15Х11МФ	1Х11МФ	–	–	+
1-8	18Х11МНФБ	2Х11МФБН, ЭП 291	–	–	+
1-9	20Х12ВНМФ	2Х12ВНМФ, ЭП 428	–	–	+
1-10	11Х12Н2ВМФ	Х12Н2ВМФ, ЭИ992	–	–	+
1-11	16Х11Н2В2МФ	2Х12Н2ВМФ, ЭИ 962А	–	–	+
1-12	20Х13	2Х13	++	–	+
1-13	30Х13	3Х13	+	–	–
1-14	40Х13	4Х13	+	–	–
1-15	30Х13Н7С2	3Х17Н7С2, ЭИ 72	–	+	–
1-16	13Х14Н3В2ФР, ЭИ 736	Х14НВФР	–	–	+
1-17	25Х13Н2	2Х14Н2, ЭИ474	+	–	–
1-18	20Х17Н2	2Х17Н2	+	–	–
1-19	95Х18	9Х18, ЭИ 229	+	–	–
1-20	09Х16Н4Б	1Х16Н4Б ЭП 56	+	–	–
1-21	13Х11Н2ВМФ	1Х12Н2ВМФ, ЭИ 961	–	+	+
2. Сталі мартенситно-феритного класу					
2-1	15Х6СЮ	Х6СЮ, ЭИ428	–	+	–
2-2	15Х12ВНМФ	1Х12ВНМФ, ЭИ802	–	–	+
2-3	18Х12ВМБФР	1Х12ВМБФР, ЭИ993	–	+	–
2-4	12Х13	1Х13	++	+	+
2-5	14Х17Н2		+	–	–

Продовження табл. 2.1

Номер марки	Марка сталі або сплаву		Групи		
	Нове позначення	Попереднє позначення	I (ккорозій- ностійка)	II (жаростій- ка)	III (жаро- міцна)
3. Сталі феритного класу					
3-1	10X13CЮ	1X12CЮ, ЭИ404	—	+	—
3-2	08X13	0X13	+	—	+
3-3	12X17	X17	++	+	—
3-4	08X17T	0X17T, ЭИ645	+	++	—
3-5	15X18CЮ	X18CЮ	—	+	—
3-6	15X25T	X25T, ЭИ439	+	++	—
3-7	15X28	X28, ЭИ 349	+	++	—
3-8	08X18T1	0X18T	+	++	—
4. Сталі аустенітно-мартенситного класу					
4-1	20X13H4Г9	2X13H4Г9, ЭИ 1000	+	—	—
4-2	09X15H8Ю	X15H9Ю, ЭИ 904	+	—	—
4-3	07X16H6	X16H6, ЭП 288	+	—	—
4-4	09X17H7Ю	0X17H7Ю	+	—	—
4-5	09X17H7Ю1	0X17H7Ю1	+	—	—
4-6	08X17H5M3	X17H5M3, ЭИ 925	+	—	—
5. Сталі аустенітно-феритного класу					
5-1	08X20H14C2	0X20H14C2	—	+	—
5-2	20X20H14C2	X20H14C2, ЭИ 211	—	+	—
5-3	08X22H6T	0X22H5T, ЭП53	+	—	—
5-4	12X21H5T	1X21H5T, ЭИ 811	+	—	—
5-5	08X21H6M2T	0X21H6M2T, ЭП 54	+	—	—
5-6	20X23H13	X23H13, ЭИ 319	—	+	—
5-7	08X18Г8H2T	КО-3	+	—	—
5-8	15X18H12C4ТЮ	ЭИ 654	+	—	—
6. Сталі аустенітного класу					
6-1	08X10H20T2	0X10H20T2	+	—	—
6-2	10X11H20T3P	X12H20T3P, ЭИ 696	—	—	+
6-3	10X11H23T3MP	X12H22T3MP, ЭП 33	—	—	+
6-4	37X12H8Г8МФБ	4X12H8Г8МФБ	—	—	+
6-5	10X14Г14H3	X14Г14H3, ДИ-16	+	—	—
6-6	10X14Г14H4T	X14Г14H3, ЭИ 711	+	—	—
6-7	10X14АГ15	X14АГ15, ЭИ 694	+	—	—
6-8	45X14H14B2M	4X14H14B2M, ЭИ 69	—	—	+
6-9	09X14H16Б	1X14H16Б, ЭИ 694	—	+	+
6-10	09X14H19B2BP	1X14H18B2BP	—	—	+
6-11	09X14H19B2BP1	1X14H18B2BP1, ЭИ 726	—	—	+
6-12	40X15H7Г7Ф2МС	4X15H7Г7Ф2МС	—	—	+
6-13	08X16H13M2Б	1X16H13M2Б, ЭИ 680	—	—	+
6-14	80X15H24B4TP	X15H24B4T, ЭП 164	—	—	+

Продовження табл. 2.1

Номер марки	Марка сталі або сплаву		Групи		
	Нове позначення	Попереднє позначення	I (корозій- ностіка)	II (жаростій- ка)	III (жаро- міцна)
6-15	03X16H15M3	00X16H15M3, ЭИ 844	+	—	—
6-16	03X16H13M3Б	00X16H15M3Б	+	—	—
6-17	09X16H15M3Б	X16H15M3Б, ЭИ 847	+	—	—
6-18	15X17AГ14	X17AГ14, ЭИ 847	+	—	—
6-19	12X17Г9АН4	X17Г9АН4, ЭИ 878	+	—	—
6-20	03X17H14M2	000X17H13M2	+	—	—
6-21	08X17H13M3Т	0X17H13M2Т	+	—	—
6-22	10X17H13M2Т, ЭИ 448	X17H13M3Т, ЭИ 448	+	—	—
6-23	10X17H13M3Т	X17H13M3Т, ЭИ 432	+	—	—
6-24	08X17H13M3Т	0X17H16M3Т, ЭИ 580	+	—	—
6-25	12X18H9	X18H9	++	+	—
6-26	17X18H9	1X18H9	+	—	—
6-27	12X18H9Т	X18H9Т	++	+	+
6-28	04X18H10	00X18H10, ЭИ842, П550	+	—	—
6-29	08X18H10	0X18H10	++	+	—
6-30	08X18H10Т	0X18H10Т	++	+	—
6-31	12X18H10Т	X18H10Т	++	+	+
6-32	12X18H10E	X18H10E, ЭП47	+	—	—
6-33	03X18H11	000X18H11	+	—	—
6-34	06X18H11	0X18H11, ЭИ 684	+	—	—
6-35	03X18H12	000X18H12	+	—	—
6-36	08X18H12Т	0X18H12Т	+	—	—
6-37	12X18H12Т	X18H12Т	++	+	+
6-38	08X18H12Б	0X18H12Б	+	—	—
6-39	31X19H9MBТ	3X19H9MBТ, ЭИ 572	—	+	—
6-40	36X18H25C2	4X18H25C2	—	+	+
6-41	55X20Г9АН4	5X20H4AГ9	—	—	+
6-42	07X21Г7АН5	X21Г7АН5, ЭП 222	+	—	—
6-43	03X21H21M4ГБ	00X20H20M4Б, ЭИ 35	+	—	—
6-44	43X22H4M3	4X22H4M3, ЭП 48	—	+	+
6-45	10X23H18	0X23H18	—	++	+
6-46	20X23H18	X23H18, ЭИ417	—	++	+
6-47	20X25H20C2	X25H20C2, ЭИ 283	—	+	—
6-48	1X25H16Г7A2P	X25H16Г7AP, ЭИ 835	—	++	+
6-49	10X11H20T2P	X12H20T2P, ЭИ 696A	—	—	+
СПЛАВИ					
7. Сплави на залізонікелевій основі					
7-1	XH35BT	ЭИ612	—	—	+
7-2	XH35BTЮ	ЭИ 787	—	—	+

Номер марки	Марка сталі або сплаву		Групи		
	Нове позначення	Попереднє позначення	I (ккорозій- ностійка)	II (жаростій- ка)	III (жаро- міцна)
7-3	ХН32Т	Х20Н32Т, ЭП 670	—	—	+
7-4	ХН38Т	ЭИ 703	—	++	+
7-5	ХН28ВМАБ	Х21Н28, ЭП 126	—	+	—
7-6	06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ	0Х23Н28М3Д3Т, ЭИ943	+	—	—
7-7	000Х23Н28М2	000Х23Н28М3Д3Т, ЭИ 628	+	—	—
7-8	06ХН28МТ	0Х23Н28М2, ЭИ943	+	—	—
8. Сплави на нікелевій основі					
8-1	Н70МФ	Н70М2Ф, ЭП496	+	—	—
8-2	ХН65МФ	0Х15Н65М16В	+	—	—
8-3	ХН60ВТ	ЭИ 868	—	+	++
8-4	ХН60Ю	ЭИ559А	—	++	—
8-5	ХН70Ю	Э 652	—	++	+
8-6	ХН75ВТ	ЭИ 435	—	++	+
8-7	ХН75МБТЮ	ЭИ 602	—	++	+
8-8	ХН78Т	ЭИ 4345	—	++	+
8-9	ХН77ТЮР	ЭИ 437Б	—	—	+
8-10	ХН70ВМЮТ	ЭИ 765	—	—	+
8-11	ХН70ВМТЮ	ЭИ 675	—	—	+
8-12	ХН67МВТЮ	ЭП 202	—	—	+
8-13	ХН70МВТЮБ	ЭИ 598	—	—	+
8-14	ХН56ВТЮ	ЭИ 893	—	—	+
8-15	ХН56ВМТЮ	ЭП 199	—	—	+
8-16	ХН70ВМЮТФ	ЭИ 826	—	—	+
8-17	ХН57МТВЮ	ЭП 590	—	—	+
8-18	ХН55М6ВЮ	ХН55М6ВЮ, ЭП 454	—	—	+
8-19	ХН75ВМЮ	ЭИ 827	—	—	+
8-20	ХН62МВКЮ	ЭИ 867	—	—	+
8-21	ХН56ВКЮ	ЭП 109	—	—	+
8-22	ХН55ВМТКЮ	ЭИ 929	—	—	+

3. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ НЕІРЖАВКИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

Висока корозійна стійкість неіржавких сталей і сплавів ґрунтується на явищі пасивності. Пасивність – стан високої корозійної стійкості металів (в умовах, коли з термодинамічного погляду вони є цілком реакційноздатними), зумовлений вибіркоким гальмуванням анодного процесу. Явище пасивності особливо яскраво проявляється в разі дії на метали та їх сплави окисників: азотної кислоти, хлорнатової кислоти та її солей, двохромовоокислого та марганцевоокислого калію. Кисень теж є сильним окисником, якщо він дотикається з поверхнею металів, перебуваючи в повітрі або у розчиненому стані в електrolіті.

До елементів, які найактивніше пасивуються в окисних середовищах, належать хром та алюміній. При цьому пасивність у них виникає мимовільно на повітрі або в електrolітах з розчиненим киснем. Схильність цих металів до самопасивації має винятково важливе значення, оскільки за механічного пошкодження пасивної плівки вона легко відновлюється і захищає поверхню металу від хімічного руйнування. На поверхні хрому, пасивованого азотною кислотою, утворюється плівка товщиною декілька атомів кисню.

Механізм корозійної стійкості легованих сталей полягає в тому, що в результаті дії кисню на поверхні хромистих неіржавких сталей виникає невидима плівка оксидів хрому в декілька атомних шарів. Установлено також існування на залізі більш складних оксидів, нерозчинних в азотній і сірчаній кислотах та розчинних у соляній кислоті. Утворення цих плівок сприяє достатньо повній ізоляції поверхні металу від корозійного середовища, внаслідок чого метал набуває високої корозійної стійкості.

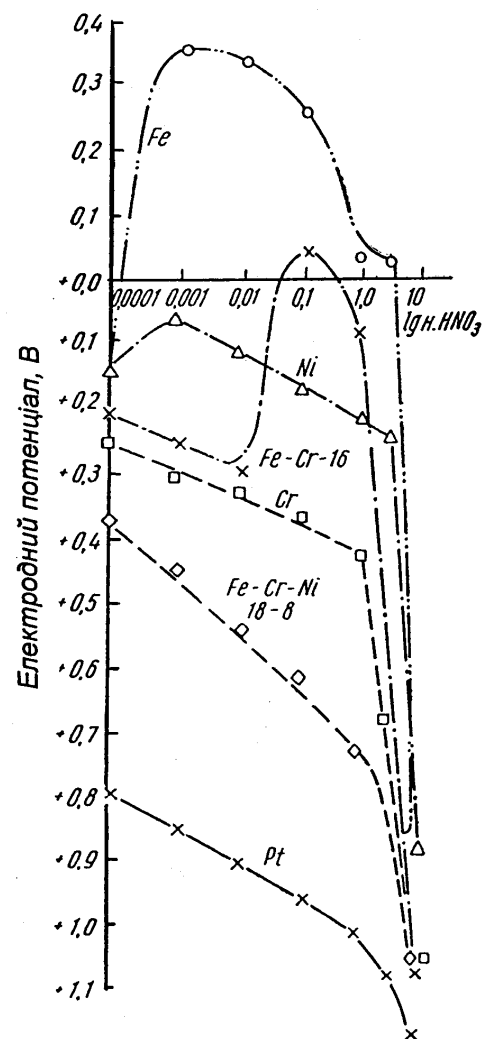


Рис. 3.1. Зміна електродного потенціалу заліза, нікелю, хрому, платини, хромистих і хромонікелевих сталей залежно від концентрації азотної кислоти

Явище пасивності виникає і в неокисних середовищах. У цих умовах захисна плівка утворюється не з оксидів, а з нерозчинних солей або інших сполук. Наприклад, молібден і ніобій утворюють пасивні плівки в розчинах соляної кислоти, а магній – у розчинах плавикової кислоти.

Пасивування супроводжується зміною електродного потенціалу металу з від'ємного на більш додатний (рис. 3.1), а депасивування – навпаки. Наприклад, під час пасивування заліза в азотній кислоті від'ємний електродний потенціал активного заліза змінюється з 0,4 В на додатний 1,0 В.

Корозійна стійкість сплавів залежить від природи основи (у випадку неіржавких сталей – заліза) та від легувальних компонентів.

Уплив хрому. Хром належить до металів, які легко пасивуються в окисних середовищах зі зміною від'ємного потенціалу на додатний. Додавання хрому до заліза надає залізохромистим сплавам неіржавких властивостей, що підвищує корозійну стійкість в атмосферних умовах і в деяких окисних середовищах; крім того підвищується окалиностійкість цих сплавів.

Корозійна стійкість хромистих сталей залежить від вмісту хрому та вуглецю, режимів термічного оброблення та складу корозійного середовища.

У більш окисному середовищі електродний потенціал з від'ємного на додатний змінюється за меншого вмісту хрому, в той час як за наявності повітря такий перехід відбувається в межах 11...14 % хрому.

Збільшення концентрації хрому з 13 до 17 % суттєво підвищує корозійну стійкість хромистих сталей в азотній кислоті.

У розведених 5 %-х розчинах сірчаної та соляної кислот корозійна стійкість залізохромистих сталей знижується і тим більше, чим вищий уміст у них хрому (відновні кислоти справляють негативний вплив). Депасивування поверхні внаслідок дії цих кислот знищує захисні плівки, сприяючи різкому зниженню корозійної стійкості хромистих сталей. І навпаки, 5 %-й і 35 %-й розчини азотної кислоти (окисні середовища) сприяють підвищенню корозійної стійкості хромистих сталей. Найбільш різке підвищення корозійної стійкості в азотній кислоті відповідає вмісту хрому 10...17 %.

Уплив нікелю. Нікель належить до корозійностійких металів. Він добре чинить опір дії води, розчинів солей і лугів. Присадка його до заліза підвищує корозійну стійкість сплавів у розчинах сірчаної, соляної та багатьох органічних кислот, котрі як відновники руйнують пасивну плівку хрому.

Нікель належить до елементів, у разі введення яких у залізо відбувається стрибкоподібне підвищення корозійної стійкості сплаву в сірчаній кислоті. Таке підвищення спостерігається в разі введення нікелю понад 1/8 моля. За концентрації 2/8 моля сплави набувають досить високої корозійної стійкості у відновних середовищах.

Нікель, як і хром, має здатність до пасивування і змінює електродний потенціал на додатний у розчинах азотної кислоти та кухонної солі. Пасивування нікелю менша, ніж хрому й молібдену.

Уплив молібдену. Молібден справляє позитивний вплив на підвищення корозійної стійкості хромистих і хромонікелевих сталей у розведених розчинах відновних кислот (сірчаної, соляної, фосфорної, сірчистої, мурашиної, оцтової та ін.). Молібден має високу пасивувальну здатність не тільки в окисних, а і в деяких відновних середовищах. Його пасивувальна здатність вища, ніж хрому та нікелю. Установлено, що у хромонікелевомолібденової сталі (Cr – 18 %, Ni – 8 %, Mo – 2...3 %) пасивувальна плівка складається з 53 % Fe_2O_3 , 32 % Cr_2O_3 , 12 % MoO_3 .

Уплив міді. Мідь має високий електродний потенціал і досить високу корозійну стійкість у багатьох кислих, лужних і нейтральних середовищах.

Відновні кислоти (сірчана, оцтова, лимонна та інші) на мідь та її сплави майже не діють. Мідь кородує в розчині аміаку. За наявності повітря та окисників корозійна стійкість міді різко знижується.

Присадка міді до неіржавких і особливо хромонікелевих сталей з молібденом дуже підвищує їх корозійну стійкість у сірчаній кислоті середніх концентрацій.

Уплив титану. Титан високостійкий до корозії в середовищах, які містять вільний хлор і хлористі солі. Його потрібно застосовувати під час контакту з розчинами хлоридів, гіпохлоридів і з морською водою, де в неіржавких сталях спостерігається інтенсивна точкова корозія.

Присадка титану до хромонікелевих аустенітних сталей усуває їх схильність до міжкристалітної корозії, але дещо знижує їх корозійну стійкість у киплячій азотній кислоті та в середовищах, що містять її. За підвищеної концентрації вуглецю (понад 0,06 %) титан надає сталі 08X18H9T властивості бути ураженою корозією ножового типу у місцях сплавлення основного металу з металом шва із цієї сталі.

Уплив ніобію. Ніобій має високу корозійну стійкість у розчинах сірчаної кислоти будь-яких концентрації за кімнатної температури і за 94 °C у 20 %-й сірчаній кислоті. Присадка ніобію до хромонікелевих сталей усуває їх схильність до руйнування міжкристалітною корозією. Для більшості середовищ додавання ніобію до сталей не впливає на їх корозійну стійкість. Ніобій також підвищує схильність хромонікелевим сталям типу X18H9 до ураження зварних з'єднань корозією ножового типу, але менше, ніж титан.

Уплив марганцю. Марганець дещо знижує корозійну стійкість хромистих і хромонікелевих сталей в окисних і відновних середовищах, якщо його вводять у досить великих (8...16 %) кількостях. Під час введення в сталь близько 2...6 % вплив марганцю незначний.

Швидкість корозії сталей з 4 і 14 % Mn, 17,5 % Cr і 4 % Ni в азотній кислоті збільшується приблизно на 10...15 %, що варто визнати незначним. Але є багато середовищ, наприклад, у виробництві фенолу, у яких хромомарганцевонікелеві сталі показують високу корозійну стійкість. Тому такі сталі з меншим умістом нікелю (4...6 %) можна успішно застосовувати замість хромонікелевих сталей типу X18H8.

Уплив концентрації легувальних елементів на корозійну стійкість неіржавких сталей у сірчаній кислоті проілюстровано на рис. 3.2. Сталь 12Х18Н10Т у сірчаній кислоті за кімнатної температури в широкому інтервалі концентрацій є нестійкою (рис. 3.2, а). У сталі 20Х23Н18 (рис. 3.2, б), у якій концентрація хрому та нікелю більша, ніж у сталі 12Х18Н10Т, діапазон стійкості значно більший. Нікель, хоч і значно менше, ніж хром, підвищує пасивованість сталі, внаслідок гальмування анодного процесу розчинення майже не впливає на катодну реакцію водневої деполяризації. З рис. 3.2, в, г випливає, що й інші легувальні елементи, наприклад, мідь і молібден також сприяють ще більшому підвищенню корозійної стійкості сталі. Приклад такої сталі може слугувати збагачена міддю та молібденом сталь 06ХН28МДТ (рис. 3.2, г), призначена для роботи в умовах виробництва сірчаної кислоти та інших сірчаноокислих середовищ.

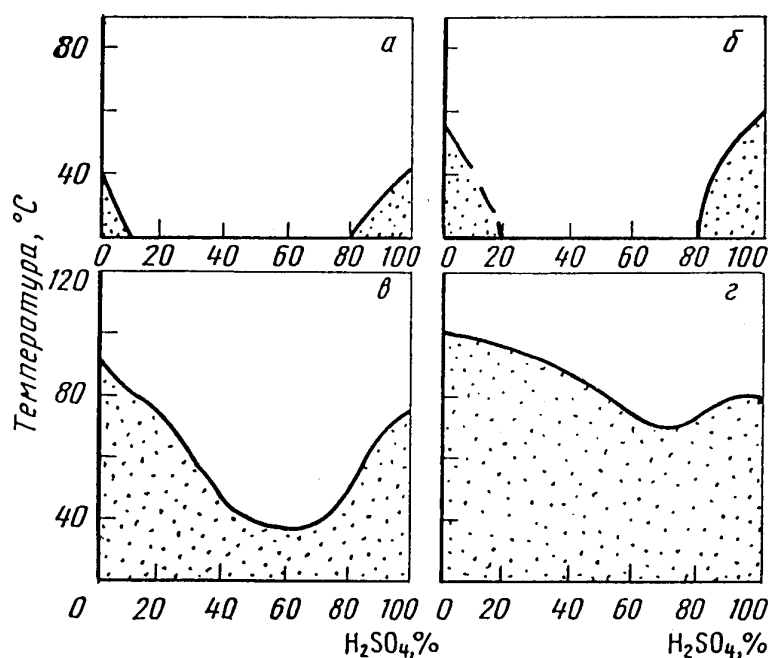


Рис. 3.2. Уплив легувальних елементів на корозійну стійкість корозійностійких сталей у сірчаній кислоті: а – сталь 12Х18Н10Т; б – 10Х23Н18; в – 06ХН28МТ (03ХН28М2Т); г – 06ХН28МДТ

Механізм захисної дії міді й молібдену в сталі 06ХН28МДТ полягає у такому: мідь зменшує площу анодних ділянок унаслідок нагромадження її в поверхневому шарі. Це відбувається в ділянці анодного розчинення, де внаслідок електрохімічної реакції обміну мідь переходить із розчину, осаджуючись на поверхню сталі і створюючи таким чином захисний екранувальний шар.

Молібден, певно, також нагромаджується в поверхневому шарі сталі, оскільки швидкість корозії його за потенціалів, характерних для активного стану сталі, дуже мала і обумовлена високою хімічною стійкістю поверхневої плівки, яка не розчинюється на катоді.

4. КОРОЗІЙНЕ РУЙНУВАННЯ НЕІРЖАВКИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

4.1. Загальні відомості

Загальна корозія. Корозійну стійкість неіржавких сталей у будь-яких середовищах визначають за втратою маси металу на одиницю поверхні за одиницю часу, і її виражають у балах. Така оцінка можлива, якщо корозійна дія середовища рівномірна по всій поверхні металу. Однак, добираючи неіржавку сталь, разом з рівномірною корозією завжди треба враховувати інші види корозії, що спричиняють локальне руйнування окремих ділянок поверхні.

Точкова (пітингова) корозія. У разі точкової корозії (рис. 4.1, 4.2) метал руйнується в окремих місцях (точках). Особливості точкової корозії полягають у швидкому її розвитку і ураженні металу на досить велику глибину, що знижує механічну міцність конструкції.

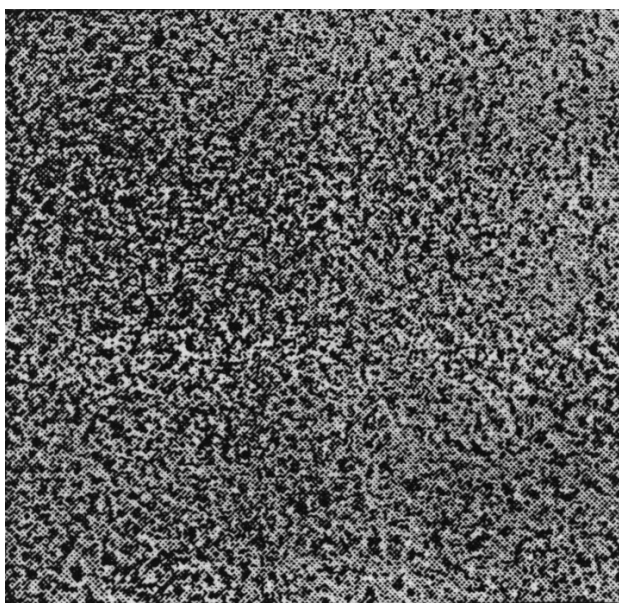


Рис. 4.1. Точкова корозія сталі 12Х13 у морській воді

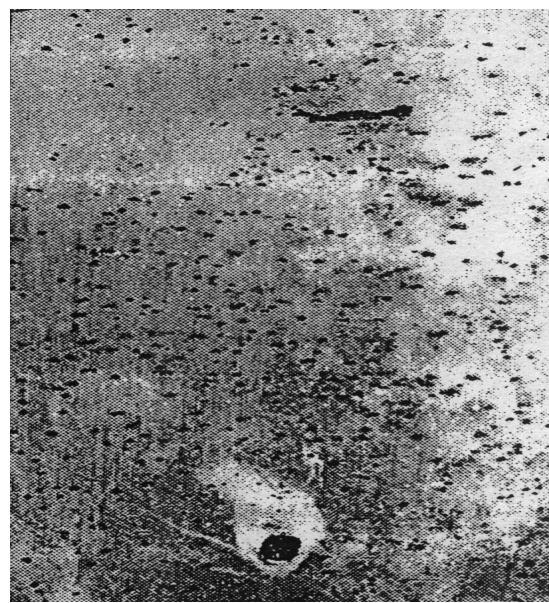


Рис. 4.2. Вигляд поверхні сталі 07Х18Н10, підданої пітинговій (точковій) корозії після випробування в 10 %-мі розчині FeCl_3 ($\times 150$)

Причиною точкової корозії (виникнення пітингів) неіржавких сталей є місцеве порушення пасивності металу, яке виникає в середовищах, що містять переважно хлор-іони. Розвитку точкової корозії сприяють дефекти сталі (раковини, тріщини, неметалеві вкраплення) і наявність на поверхні металу залишків невидаленої окалини або іржі (рис. 4.3). Наприклад, на свердловинах кислих мінеральних вод зафіксовано, що сталь 08Х18Н10Т втрачала по $0,06 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{рік})$, а глибина локальних уражень становила $0,32 \text{ мм}/\text{рік}$. У вироб-

нищіві метакрилової кислоти глибина локальних уражень за рік роботи апаратів становила для сталі 12X18H10T 0,32...2,16 мм, 08X22H5T – 0,54...2,34 мм, 10X17H13M2T – 2,4 мм, а сплав 06XH28МДТ у цих умовах кородував рівномірно і несуттєво (0,01 мм/рік).

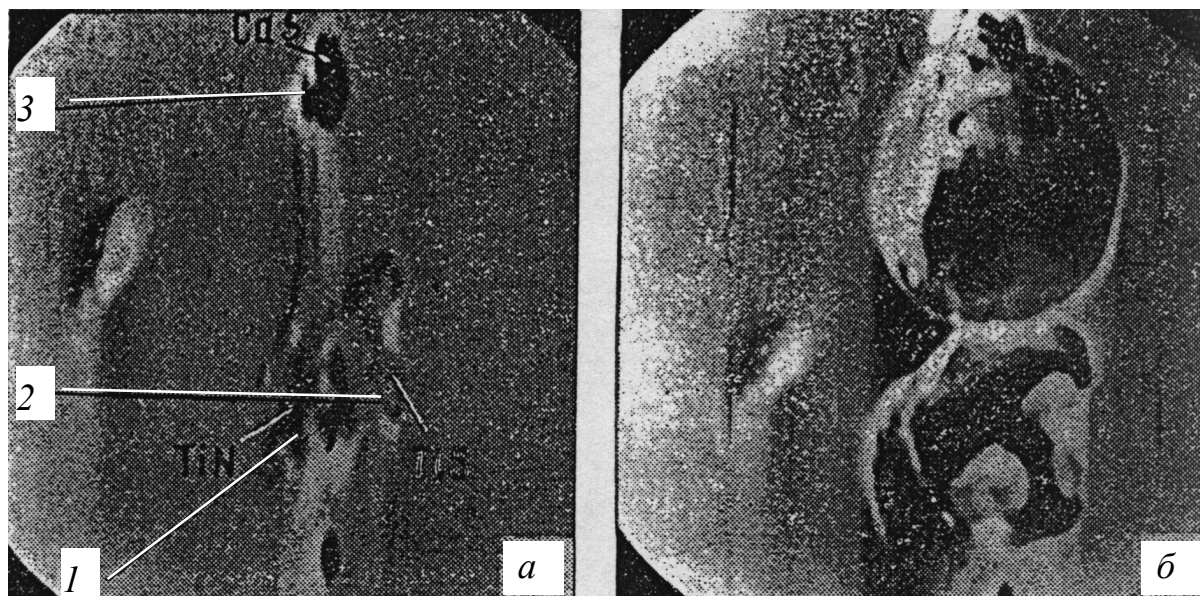


Рис. 4.3. Утворення пітингу на сталі 12X18H10T, утворюваних на неметалевих укралпеннях::
а – нітриди титану (1), сульфiди титану (2), сульфiди кальцію (3); б – вигляд пітингу
(випробування в 10 %-й HCl)

Розвиток пітингового процесу в одних точках спонтанно припиняється, а в інших може тривати довго. Особливо уразливими є ребра, кромки, риски, межі лакофарбових покриттів. Специфічними активаторами точкової корозії є Cl^- , CN^- -іони та H_2S .

Контактна корозія. Руйнування такого виду виникають, якщо два метали з різними електродними потенціалами перебувають у тісному контакті в корозійному середовищі. У такій парі метал з більш низьким потенціалом стає анодом і під дією металу-катода піддається інтенсивному руйнуванню. Контактну пару зі сталі 12X18H10T і магнію, що були піддані випробуванню в середовищі вологого повітря, показано на рис. 4.4. Оскільки магній порівняно з неіржавкою сталлю має менший потенціал, він кородує швидше. Установлено, що швидкість корозії в морській воді досягає 3 мм/рік для деталей із вуглецевої сталі, які перебувають у контакті зі сталлю 12X18H10T, а для алюмінієвих деталей у контакті з тією ж сталлю – 5...7 мм/рік.

Треба брати до уваги той факт, що контакт різних металів в умовах хімічного середовища спричиняє інтенсивнішу корозію металів з від'ємним потенціалом. Швидкість корозії буде тим вищою, чим більша різниця потенціалів між двома металами, що контактують між собою в хімічному середовищі.

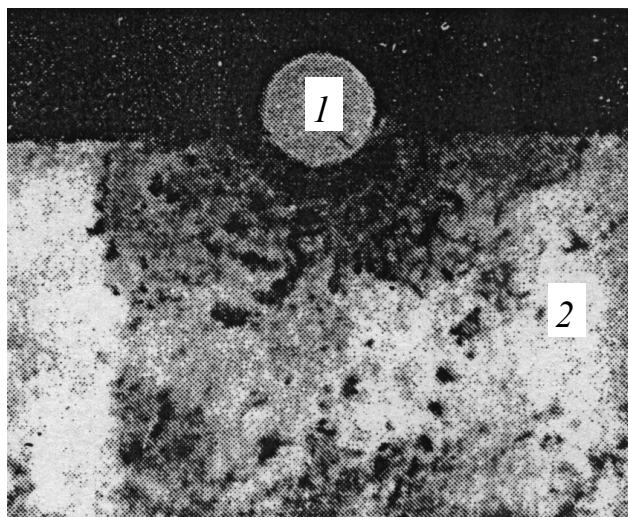


Рис. 4.4. Контактна корозія: 1 – сталь 12X18H10T; 2 – магній

Усі види з'єднань низьколегованих сталей допустимі без небезпеки виникнення помітної контактної корозії. Це означає, що місця контактів будуть руйнуватись з тією ж швидкістю, що і вільні від контактів поверхні.

Низьколеговані та вуглецеві сталі можуть експлуатуватися в контакті з хромистими та хромомарганцевистими сталями.

Безпосередній контакт неіржавких хромонікелевих сталей і сплавів з хромистими та хромомарганцевистими, а тим більше з низьколегованими сталями, неприпустимий. У таких випадках для запобігання контактній корозії потрібно застосовувати ізоляційні прокладки.

Вуглецеві низьколеговані сталі в контакті з міддю та її сплавами в слабоагресивних середовищах залишаються стійкими проти контактної корозії, а в морській воді, наприклад, у цій парі інтенсивно кородує сталь.

Контактна корозія виникає не тільки в процесі виготовлення конструкції з різномірних металів, а під час з'єднання заготовок з однакового металу зварюванням, паянням, заклепками, болтами. Електрохімічні потенціали зварного шва та основного металу зазвичай різні. Нагартування окремих частин конструкцій (клепання) та внутрішні напруження частин апаратів, наприклад, з'єднаних болтами, призводить до виникнення контактних пар.

Різниця потенціалів сама собою однозначно ще не характеризує корозійну поведінку анода в контакті з катодом. Велике значення має співвідношення площ контактуючих пар, оскільки сполучення великої поверхні катода з невеликою поверхнею анода, незважаючи на невелику різницю потенціалів, буде зумовлювати активний розчин металу.

Корозія під напруженням (корозійне розтріскування). У виготовлених з неіржавких сталей хімічних апаратах, що перебувають під постійним підвищеним тиском та іншими зовнішніми механічними навантаженнями, у разі одночасної дії корозійного середовища та статичних розтягувальних напру-

жень відбувається корозійне розтріскування. Причиною корозійного розтріскування можуть бути також напруження від внутрішніх сил, які виникають внаслідок швидкого охолодження від високих температур у процесах термічного оброблення, після зварювальних робіт, операцій штампування та гнуття, а також внаслідок різниці в коефіцієнтах температурного відносного лінійного розширення, наприклад, у біметалевих листах (рис. 4.5).

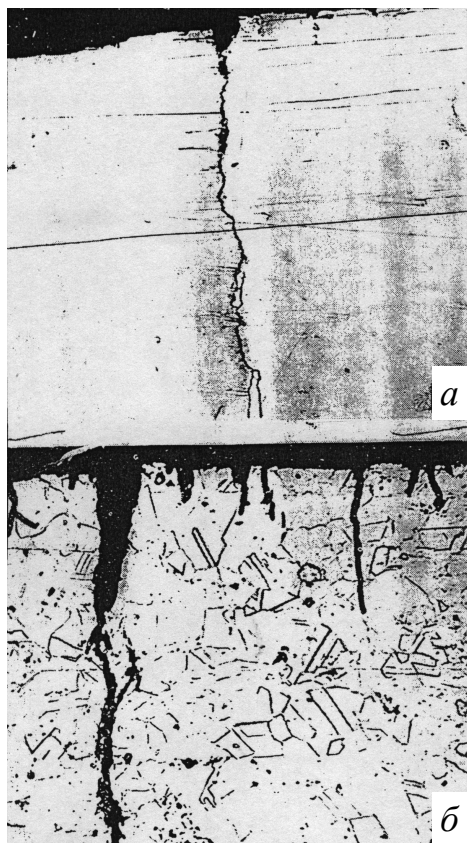


Рис. 4.5. Корозійне розтріскування. Сталь 12X18H10T після випробування під напруженням $0,75\sigma_T$ у 42 %-му розчині $MgCl_2$ за температури $155^\circ C$ ($\times 300$): а – нетравлений шліф; б – травлений шліф

ми, так і газоподібними, наприклад, сірководень. Найбільш характерними середовищами, які провокують прискорене розтріскування неіржавких сталей, є морська вода, розчини H_2S , $NaCl$, $MgCl_2$, $ZnCl_2$, $LiCl$, аміаку, диоксиду вуглецю. Відомо, наприклад, що загартована сталь X18H10T, випробувана під напруженням розтягання в киплячому 20 %-му розчині кухонної солі, руйнується через 20 год.

Зразки сталі X18H10T після випробування під напруженням у киплячому 42 %-му хлористому магнії показано на рис. 4.6 і 4.7. Як видно, розривання відбувається не тільки по границях зерен, а і транскристалітно. Якщо метал не

За наявності в металі стискувальних напружень розтріскування не відбувається. Рівень загальної корозійної стійкості, як правило, не є показником для визначення схильності металу до корозії під напруженням. Особлива небезпека корозійного розтріскування полягає в тому, що руйнування конструкції може статися без будь-яких видимих зовнішніх змін металу.

Схильність до корозійного розтріскування неіржавких сталей і зварених з них деталей залежить від умов експлуатації і технологічних процесів виготовлення апаратів. Факторами, що провокують корозійне розтріскування, можуть бути: а) конструкція перебуває водночас у напруженому стані (наприклад, під надлишковим тиском середовища) та під впливом хімічно агресивних продуктів; б) метал піддано дії пластичної деформації, а згодом дії хімічного середовища; в) хімічний склад і кристалічна структура металу, вид термічного оброблення; г) склад, температура і тиск корозійного середовища.

Слід відзначити, що корозійне розтріскування відбувається в небагатьох хімічних середовищах, але вони можуть бути як рідкими,

має схильності до міжкристалітної корозії, корозійне розтріскування під напруженням у більшості випадків має внутрішньокристалічний характер. Якщо метал має схильність до міжкристалітної корозії і перебуває у відповідному середовищі, руйнування відбувається за змішаним типом.

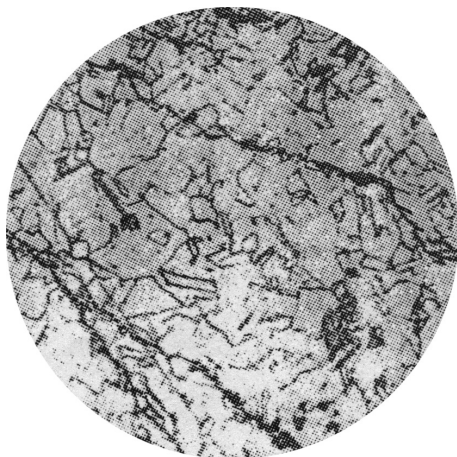


Рис. 4.6. Внутрішньокристалічне розтріскування сталі X18H10T у киплячому 42 %-му розчині MgCl_2

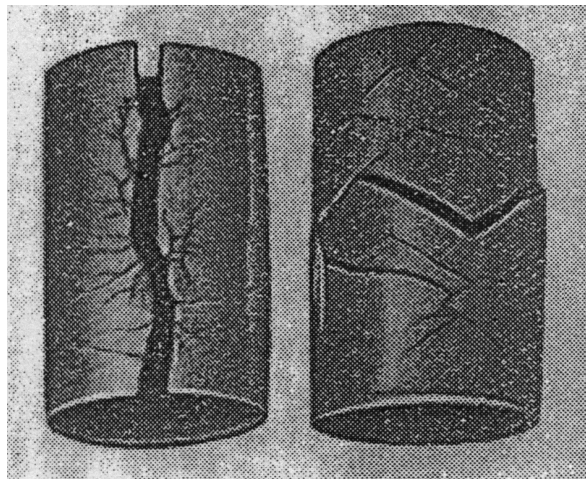


Рис. 4.7. Вигляд холоднотягнутих труб зі сталі X18H10T після випробування на корозійне розтріскування в киплячому 42 %-му розчині MgCl_2

Установлено, що зі збільшенням концентрації нікелю в неіржавкій сталі з 18 % хрому та 0,05 % вуглецю час до розтріскування збільшується (рис. 4.8).

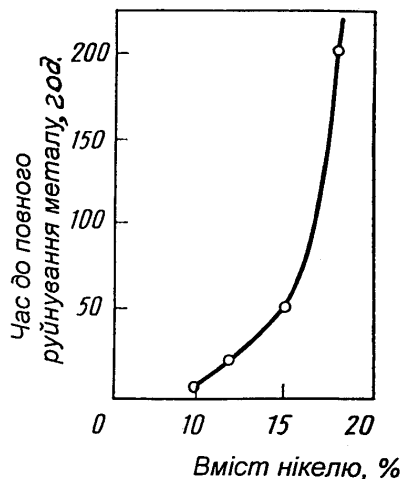


Рис. 4.8. Залежність корозійного розтріскування від умісту нікелю в сталі з 18 % Cr і 0,05 % C

Роздільно уведені в сталі на основі X18H12 фосфор (0,044 %), азот (0,3...0,35 %), мідь (0,68 %), молібден, нікель, вольфрам (2,7 %) і ніобій (0,62...1,6 %) знижують стійкість металу до корозійного розтріскування за напружень 75 % від границі плинності. Домішки азоту (0,061 %), бору (0,05 %) і кремнію (0,81 %) суттєво не впливають на стійкість проти розтріскування. Уведення бору в кількості 0,095 % значно підвищує стійкість проти корозійного розтріскування.

Досліджено захисну дію інгібіторів (уповільнювачів корозії) та мастил. Під час випробування сталі типу X18H10 під напруженням у киплячому 42 %-му хлористому магнії з інгібітором ПБ-5 (0,1 %) зразки не розтріскувались протягом 730 год. Водночас аналогічні зразки без інгібітору в цих же умовах розтріскались через 5...7 год.

Щілинна корозія зазвичай розвивається у вузькому просторі між двома близько розміщеними стінками одно- або різнорідних матеріалів. Щілинна

корозія виникає також у тих випадках, коли в металі є тріщини, напрямлені від поверхні в глибину металу, або коли в місцях контакту деталей з неіржавких сталей з прокладками утворюються зазори. Внаслідок застою агресивного розчину в цих ділянках, відсутності вільного доступу кисню, необхідного для утримання пасивного стану металу, створюються умови розвитку корозійних процесів. Цьому також сприяє нагромадження продуктів корозії на поверхні металу.

Щілинна корозія за досить близького контакту металу з іншими матеріалами нерідко проявляється у вигляді виразок або точкових уражень (рис. 4.9).

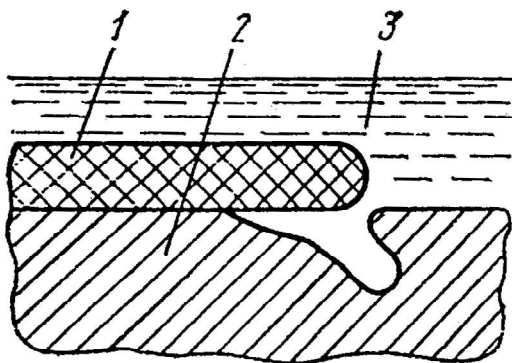


Рис. 4.9. Схема щілинної корозії в проміжку між корозійностійкою сталлю та неметалевим матеріалом: 1 – неметалевий матеріал; 2 – сталь; 3 – електроліт

Якщо основна частина поверхні металу може зберігати пасивний стан, у щілинах і зазорах внаслідок утруднення дифузії окисника та анодного уповільнювача виникає хімічно активний стан. Зменшення концентрації пасивуючих агентів у щілині призводить до поступової втрати металом пасивного стану.

За порівняно низьких окисно-відновних потенціалів і концентрації окисника виникає щілинна корозія. В умовах більш високих окисно-відновних потенціалів і концентрацій окисника всі ділянки апарата перебувають у пасивному стані.

Для запобігання щілинній корозії необхідно під час виготовлення апаратів та їх частин уникати утворення зазорів, щілин, карманів, а до якості поверхонь ставити високі вимоги, не допускаючи у виробництво хімічних апаратів неіржавкі сталі, що мають поверхневі дефекти.

Пасивність і корозійна стійкість напівфабрикатів і виробів із неіржавких сталей тісно пов'язані з мікрогеометрією поверхні металу, котра ще більшою мірою впливає на стійкість проти щілинної та точкової корозії, ніж на стійкість проти загальної корозії.

Довершеної пасивності поверхонь досягають поліруванням.

Міжкристалітна та ножова корозія. Високохромисті, хромонікелеві, хромонікелевомарганцевисті неіржавкі сталі (як однофазові, так і двофазові),

а також високолеговані сплави в разі порушення їх структури схильні до міжкристалітної корозії (МКК) у деяких хімічних середовищах.

Міжкристалітна корозія та її різновид ножова корозія – локальні види руйнування металу переважно по границях зерен, що призводить до послаблення зв'язків між ними, виникнення тріщин, а в результаті – до крихкого руйнування.

Локальні руйнування виникають через такі причини:

а) під час нагрівання до високих температур утворюється багатий вуглецем аустеніт; з пониженням температури він стає пересиченим розчином вуглецю, який у міру охолодження утворює по границях зерен з феритом карбіди заліза, хрому та інших елементів – продуктів з низькою корозійною стійкістю;

б) унаслідок хімікотермічних реакцій поблизу поверхонь кристалічних зерен зменшується концентрація корозійностійких елементів, наприклад, хрому.

в) вуглець і хром потрібні для зростання карбідів, переносяться дифузійно з об'єму зерна до його границь. Оскільки швидкість дифузії вуглецю вища, ніж хрому, то на утворення карбідів витрачається майже весь вуглець твердого розчину, в той час як у реакцію карбідоутворення вступає хром, що перебуває лише біля границь. У результаті в примежових поверхнях зерен залишається менше ніж 12 % вільного хрому, що знижує їх корозійну стійкість, унаслідок чого виникає МКК.

Сучасні теорії трактують МКК як електрохімічний процес. У результаті виділення більш багатого хромом іншої фази, наприклад карбідів хрому, на границях зерен утворюється зона, збіднена вільним хромом і схильна до корозії (анод), а саме зерно залишається пасивним.

Поява МКК в однофазових хромонікелевих, хромомарганцевистих (аустенітних) неіржавких сталях пояснюється тим, що під час нагрівання від 450 до 750 °С відбувається розпад однорідного твердого розчину аустеніту, і в зернах металу утворюються карбіди, багаті на хром. Унаслідок цього границі зерен, збіднені хромом, не пасивуються і стають нестійкими проти корозії. Границі таких зерен контрастно окреслені шарами карбідів металів, у тому числі й хрому (рис. 4.10 і 4.11). Фотознімки мікрошліфів зразків сталі 09X18H14, уражених МКК, наведені на рис. 4.12. Мікроструктуру краю зразка сталі типу X18H8 поблизу зварного шва, зруйнованого МКК, показано на рис. 4.19. Таке руйнування виникає на деякій відстані від зварного шва, де основний метал піддався розігріву до температури 400...800 °С.

У разі правильного термічного оброблення хромонікелевих сталей (нагрівання до 1050...1080 °С) весь вуглець переходить у твердий розчин (аустеніт), а з охолодженням у воді досягається однорідність твердого розчину. Такий метал не піддається МКК.



Рис. 4.10. Мікроструктура сталі 09X18H14 після загартування за температури 1050 °С у воді та відпуску за 700 °С (аустеніт-карбід типу $Me_{23}C_6$ на межах зерен; $\times 300$)



Рис. 4.11. Мікроструктура сталі 12X18H10T, схильної до міжкристалітної корозії; $\times 300$

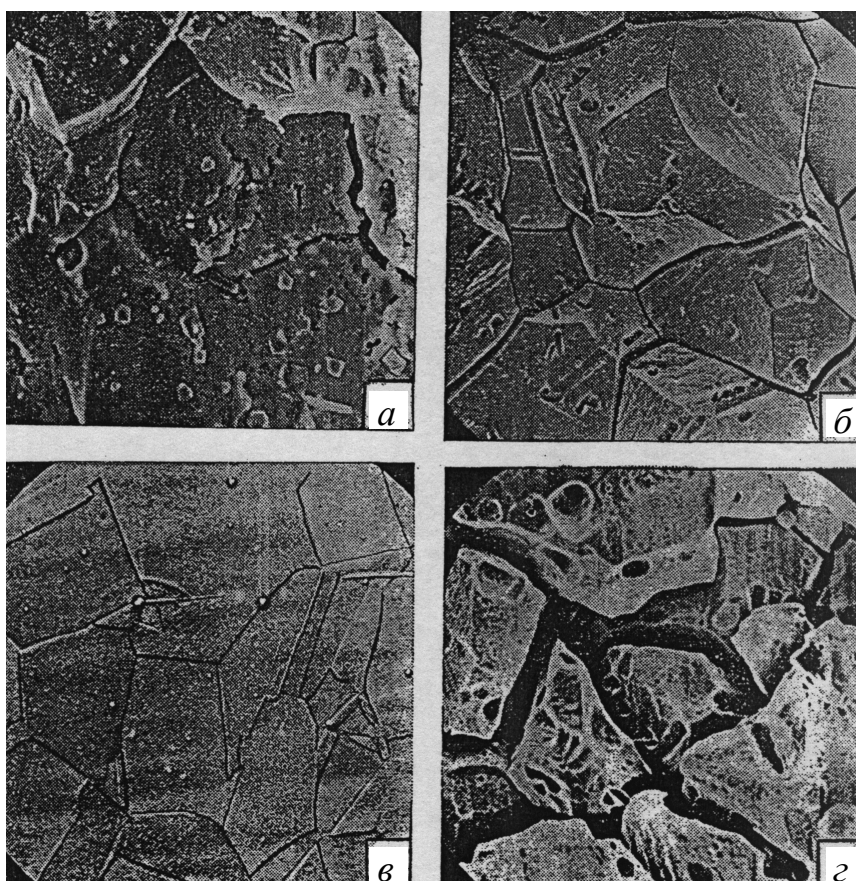


Рис. 4.12. Мікроструктура сталі 09X18H14 після загартування за температури 1050 °С у воді та відпуску за 700 °С ($\times 500$): а – міжкристалітна корозія (випробування за методом АМУ згідно з ГОСТ 6032–89); б – міжкристалітна корозія (випробування в 27 %-й $HNO_3 + 40$ г/л Cr^{6+}) протягом 196 год; в, г – міжкристалітна корозія після загартування за температури 1050 °С у воді (випробування в сильноокисному середовищі)

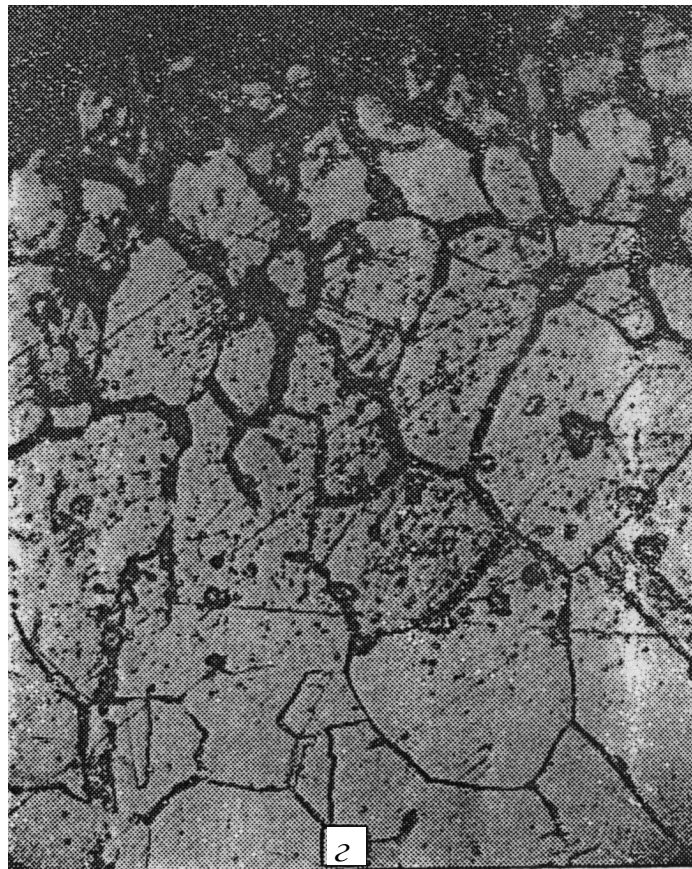
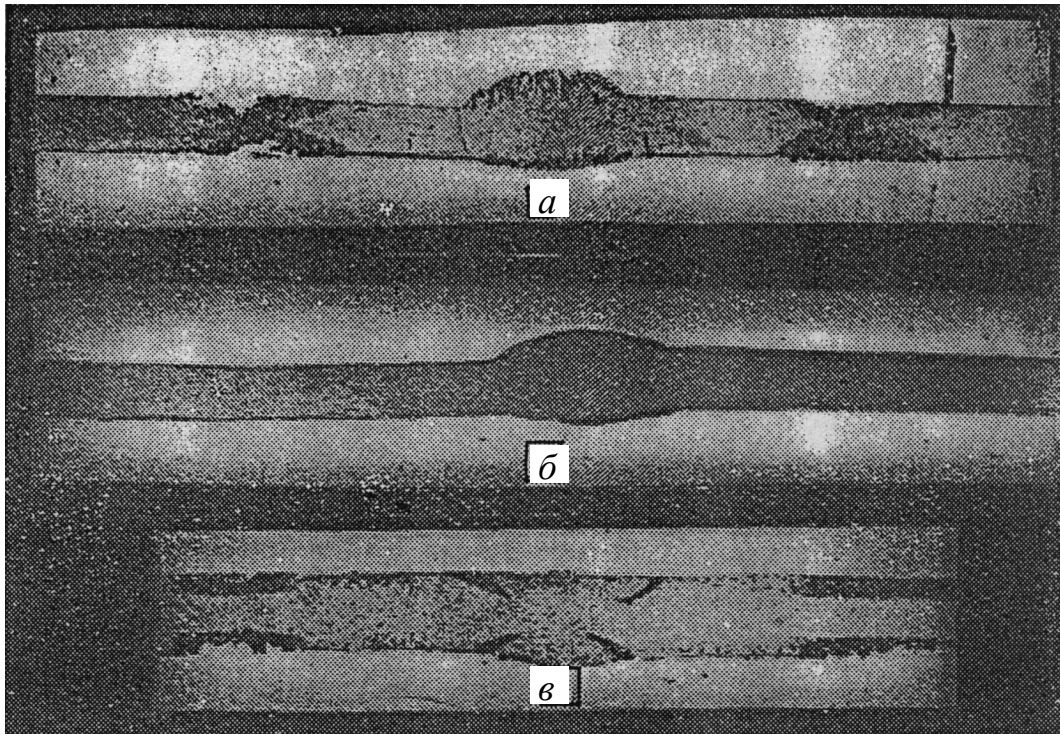


Рис. 4.13. Міжкристалітна корозія сталі X18H8 у зоні термічного впливу ($\times 500$):
а – зразок зруйнований; *б* – зразок не зруйнований; *в* – ножова корозія в місці сплавлення
та міжкристалітна корозія в зоні термічного впливу; *г* – мікроструктура краю зразка зі сталі
X18H9, зруйнованого міжкристалітною корозією

Нагрівати метал понад 1080 °С зі збільшенням часу витримування не варто, оскільки в аустенітних сталях, стабілізованих титаном, з підвищенням температури загартування підвищується розчинність карбідів титану. У разі повторного нагрівання до температури 500...750 °С буде зростати концентрація карбідів хрому, які збіднюють границі зерен сталі, через витрату титану на утворення його карбідів.

Однофазові високохромисті сталі (феритні) піддаються МКК після різкого охолодження від температур понад 900 °С. Механізм міжкристалітної корозії феритних сталей той же, що й аустенітних.

Двофазові аустенітно-феритні неіржавкі сталі (такі, як 12Х21Н5Т, 08Х22Н6Т, Х21Н6М2Т, 08Х18Г8Н2Т та ін.) теж схильні до МКК, якщо сталість їх структури порушується.

Аналізуючи умови виникнення МКК двофазових сталей, потрібно брати до уваги різну розчинність елементів у фериті й аустеніті. Наприклад, у стані постачання (після загартування) у сталі 08Х22Н6Т аустеніт містить 20 % хрому та 6,5 % нікелю, а ферит – 25 % хрому і 4 % нікелю, у сталі 08Х18Г8Н2Т аустеніт містить 21 % хрому і 2,8 % нікелю, а ферит – 22 % хрому та 2 % нікелю.

У феритно-аустенітних неіржавких сталях залежно від умісту феритної фази, яка утворилась під час нагрівання, фази можуть поводитись по-різному. Чим вища температура нагрівання, тим більше утворюється феритної фази і тим більша ймовірність виникнення у сталі схильності до МКК після швидкого наступного охолодження, як це спостерігається в однофазових феритних сталях. Під час термічного оброблення феритно-аустенітної сталі, у якій співвідношення фериту й аустеніту залежить від температури, більший вплив на розвиток схильності її до МКК може справити швидкість охолодження від високої температури до температури, за якої вже не змінюється співвідношення α - і γ -заліза.

Феритно-аустенітні й аустенітні сталі по-різному проявляють схильність до МКК під впливом холодної деформації. Зменшення схильності до МКК феритно-аустенітних сталей типу Х18Н8 пояснюється тим, що в процесі холодного деформування та наступного нагрівання в діапазоні небезпечних температур відбувається утворення фериту, котрий, маючи більшу дифузійну рухомість, сприяє швидкому вирівнюванню концентрації хрому в місцях утворення карбідів, цим самим зменшуючи схильність до МКК.

Деформація в холодному стані аустенітних сталей типу Х18Н9 та інших марок, у яких може розвиватись МКК, сприяє прискоренню процесів утворення карбідів, а отже збідненню деформованих зон металу на вільний хром в інтервалі більш низьких температур. Це означає, що холодна деформація призводить до різкого прискорення розвитку МКК у нестабілізованих титаном або ніобієм сталей типу Х18Н8 за температур 350...500 °С. У разі більш висо-

ких температур прискорюється процес дифузії. Пов'язане з цим вирівнювання концентрації хрому у твердому розчині зумовлює швидке усунення схильності до МКК.

В інтервалі низьких температур вирішальну роль у розвитку схильності до МКК відіграє хром, а з підвищенням температур – вуглець. Якщо конструкція піддається короткотривалому нагріванню в зоні небезпечних температур, наприклад, під час зварювання, визначальну роль у виникненні схильності сталей до МКК належить вуглецю, і чим нижча його концентрація, тим менша небезпека появи в сталі (зварному шві) МКК. В інтервалі низьких температур схильність до МКК визначається уповільненням дифузії хрому і мало залежить від умісту вуглецю (від 0,04 % і вище).

Деформування стискуванням зумовлює дещо більшу схильність сталі типу X18H8 до МКК, ніж деформування розтяганням.

Холоднодеформовані сталі, стабілізовані титаном (X18H10T) або ніобієм (X18H12B), а також сталь X25H20 не зазнають схильності до МКК, якщо вони загартовані (різко охолоджені) від звичайних температур загартування. У випадку загартування цих сталей від більш високих температур деформація в холодному стані може сприяти прискоренню виникнення схильності до МКК.

Під час прокатування двофазових сталей зерна фериту та аустеніту витягуються вздовж напрямку деформування, створюючи шарувату структуру, яка зберігається після нагрівання під загартування.

Різновидом МКК є ножова корозія. Вона виникає у зварних з'єднаннях у дуже вузькій зоні – від декількох сотих до декількох десятків часток міліметра на границі зварний шов – основний метал. Цей тип корозії може виникати під час зварювання навіть стабілізованих титаном або ніобієм неіржавких сталей. Пояснюється це тим, що у вузькій навколошовній зоні металу, перегрітого під час зварювання за температури понад 1300 °C, відбувається розчинення карбідів титану, ніобію, хрому. У разі наступного швидкого охолодження цієї зони карбіди не встигають знову виділитись, і вуглець залишається у твердому розчині.

Ширина і розміщення навколошовної зони, яка уражається міжкристалітною корозією в основному металі та ножовою корозією безпосередньо в зоні активного термічного впливу, залежать від хімічного складу та структурного стану сталі, величини зерна, методу зварювання та товщини листа.

Газове зварювання справляє більший вплив на зону руйнування міжкристалітною та ножовою корозією, ніж електродугове (рис. 4.14).

У разі зварювання двостороннім швом зона руйнування МКК більша, ніж за одностороннього зварювання, оскільки кількість теплоти і тривалість дії рівня небезпечних температур більша в першому випадку. Зі збільшенням товщини листа також збільшується кількість теплоти і часу перебування розігрітого металу в інтервалі небезпечних температур. Графіки залежності часу

нагрівання від виду зварювання та товщини листа показано на рис. 4.15. Найліпші результати дає аргонодугове зварювання, яке здійснюють з найбільшою швидкістю, а найгірші ацетилено-кисневе. Отже, чим вища швидкість зварювання, тим менша схильність до МКК, і зокрема її ножового різновиду. Але якісна картина різко погіршується в разі підвищення концентрації вуглецю. На фотознімку (рис. 4.16) добре видно, що перехресні шви сталі типу X18H8 з умістом вуглецю 0,10 % уражені ножовою корозією (а) та вільні від неї за концентрації вуглецю 0,02 % (б).

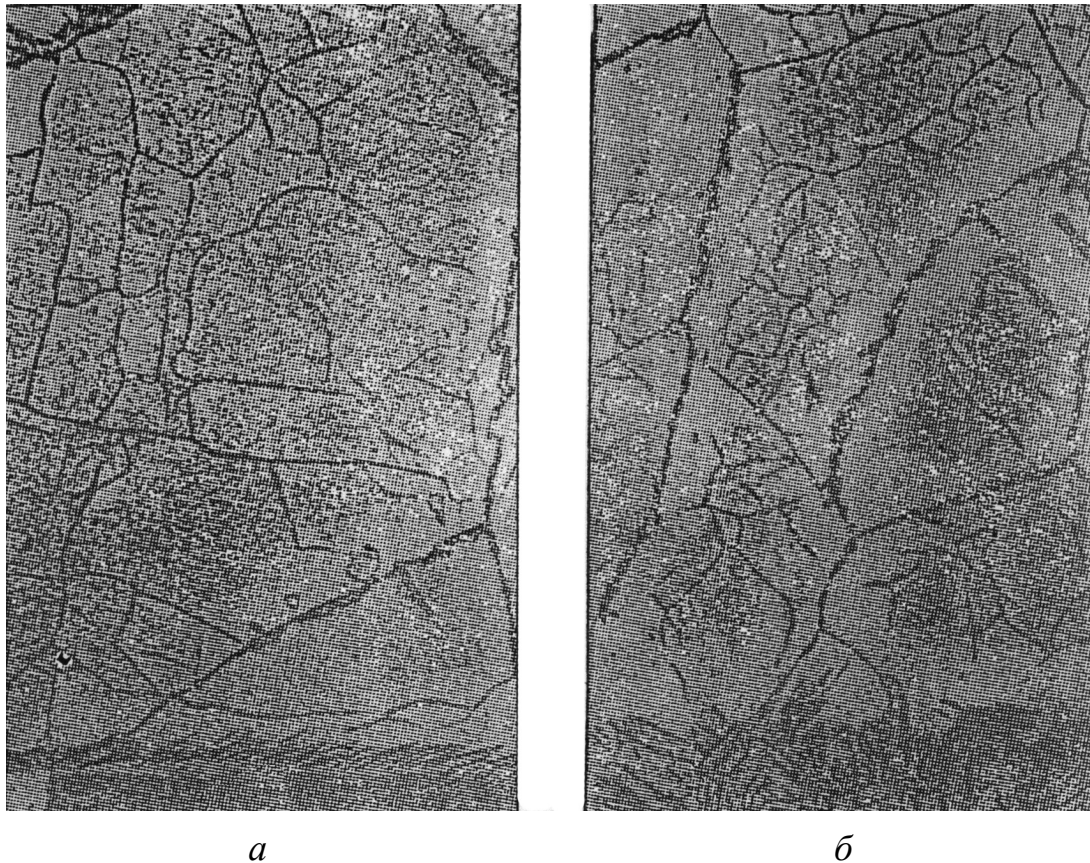


Рис. 4.14. Мікроструктура перехідної зони зварного шва сталі X17 після зварювання ($\times 100$):
a – ацетиленокисневого; *б* – електродугового

Схильність однофазових і двофазових неіржавких сталей до МКК може бути повністю усунута або зведена до мінімуму такими способами: а) загартуванням сталі на аустеніт високотемпературним нагріванням; б) зниженням умісту вуглецю до дуже низьких рівнів (0,03...0,05 %); в) введенням у сталі стабілізуювальних елементів – титану, ніобію, танталу; г) стабілізуювальним термічним обробленням за температури 800...900 °С; д) застосуванням двофазових аустенітно-феритних сталей.

Вибір способу запобігання МКК залежить від конструкції апарата, технології його виготовлення та умов контакту з агресивним середовищем.

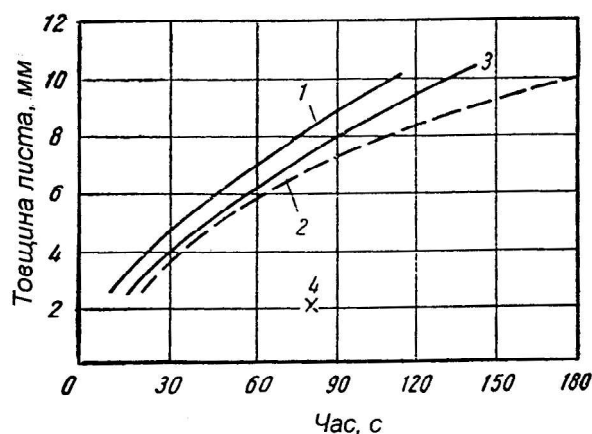


Рис. 4.15. Залежність часу нагрівання за різних видів зварювання від товщини листа:
 1 – аргонодугове (висока швидкість зварювання); 2 – аргонодугове (мала швидкість зварювання); 3 – електродугове; 4 – ацетилено-кисневе

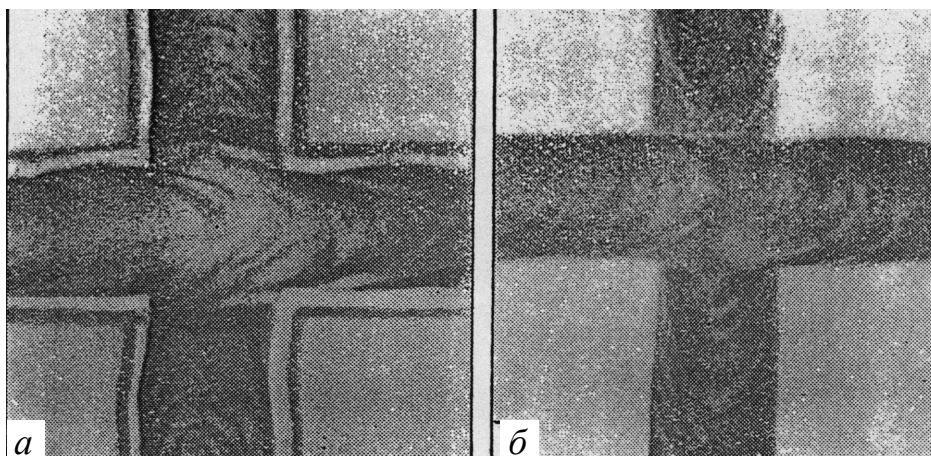


Рис. 4.16. Уплив вуглецю на міжкристалітну корозію сталі типу X18H8:
 а – перехресні шви на сталі з умістом 0,1 % С, корозія є;
 б – перехресні шви на низьковуглецевій сталі з умістом 0,02 % С, корозії немає

4.2. Хромисті сталі та міжкристалітна корозія

Схильність до МКК феритних сталей з 16...30 % хрому виникає внаслідок перегрівання сталі до температури понад 980 °С і швидкого охолодження (рис. 4.17). Такі умови потрібні для зварювання, тому зона, яка безпосередньо прилягає до металу шва, швидко руйнується міжкристалітною (ножовою) корозією від дії агресивних середовищ.

Схильність хромистих сталей до МКК у зоні термічного впливу зварного шва може бути усунута повторним нагріванням за температури 760...780 °С, що може бути прийнятним лише для малогабаритних виробів.

Вид ножового корозійного руйнування 17 %-ї хромистої сталі у зварному з'єднанні показано на рис. 4.18. По границі зерен великих кристалів у зоні, суміжній зі швом, видно виділення структури мартенситного типу, який сприяє ураженню сталі МКК.

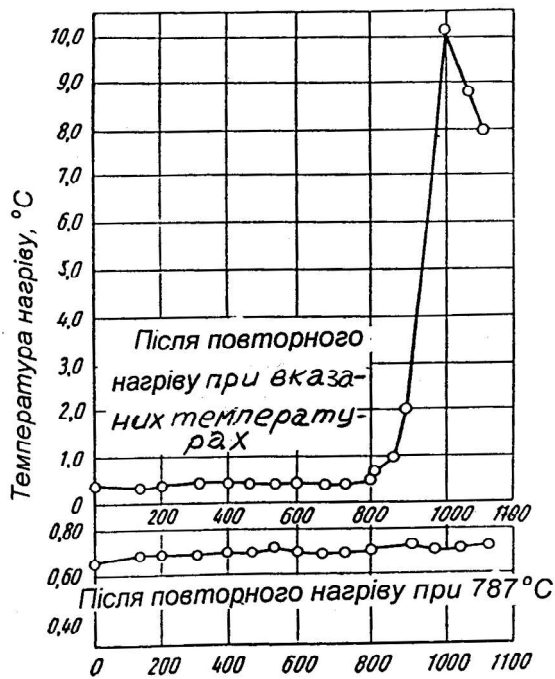


Рис. 4.17. Уплив нагрівання за різної температури на корозійну стійкість 17 %-ї хромистої сталі в 65 %-й HNO_3 і повторного нагрівання за температури 787 °C

Характерно, що хромисті сталі, у яких концентрація вуглецю не перевищує 0,005 %, виявляють схильність до МКК за наявності в них 0,01 % азоту. Сталі, виплавлені у вакуумі (сталі без азоту), з умістом вуглецю 0,02 % стійкі до МКК.

Титан і ніобій, які вводяться в сталь, частково перетворюють вуглець та азот на більш стійкі та важкорозчинні сполуки (карбіди, нітриди) і суттєво або повністю ліквідують схильність до МКК як основного металу, так і металу зварного шва.

Збільшення концентрації хрому до 24...30 % підвищує корозійну стійкість до МКК у 65 %-й азотній кислоті.

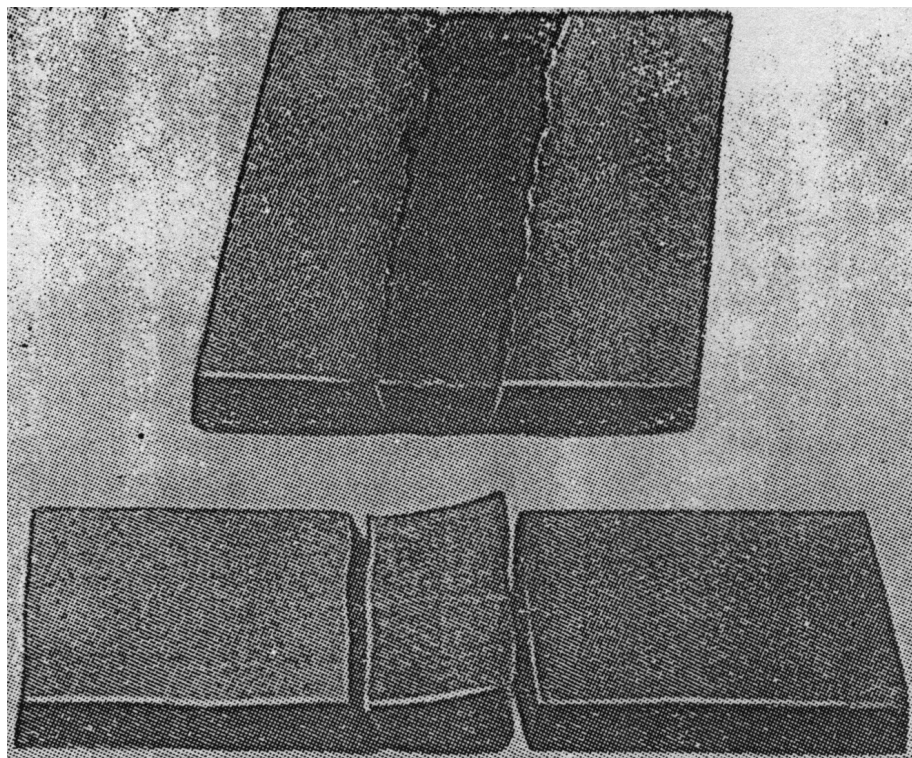


Рис. 4.18. Вигляд зварного з'єднання сталі типу X17 після випробувань у киплячій азотній кислоті

4.3. Хромонікелеві сталі та міжкристалітна корозія

Хромонікелеві аустенітні сталі набувають схильності до МКК після нагрівання за температури 400...800 °С. Швидкість руйнування міжкристалітною корозією залежить від структурних змін у сталі, спричинених нагріванням. Міжкристалітна корозія хромонікелевих сталей, як і хромових сталей, виникає в гарячих розчинах азотної кислоти, її сумішах із сірчаною кислотою, в сірчаноокислих розчинах за наявності міді та заліза, у сумішах плавикової кислоти та азотної кислоти, в органічних кислотах і навіть в атмосферному середовищі.

Приклад міжкристалітного руйнування хромонікелевої сталі, яке виникає у зварних з'єднаннях на деякій відстані від наплавленого металу в зонах, де основний метал піддався порівняно тривалому розігріванню за температури 400...800 °С, показано на рис. 4.12.

Відомо, що зі зменшенням концентрації вуглецю стійкість хромонікелевих сталей до МКК підвищується (рис. 4.19). Установлено, що досить повного імунітету до МКК сталь може набути за вмісту вуглецю не більше за 0,02 %. Для досягнення повної стійкості до МКК у сталь з умістом вуглецю понад 0,02 % необхідно вводити титан.

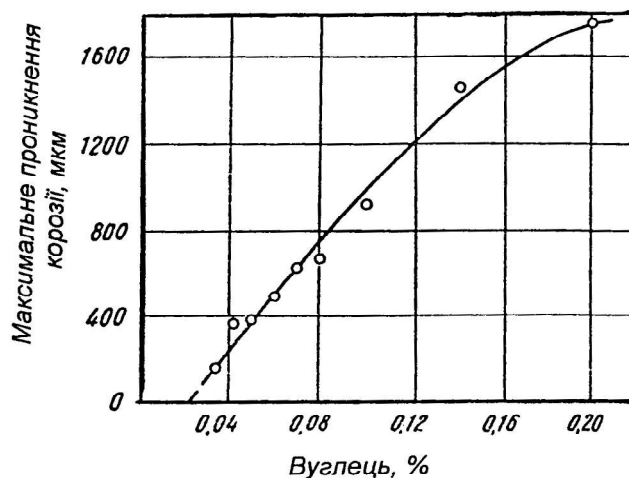


Рис. 4.19. Уплив вуглецю на схильність сталі типу X18H8 до міжкристалітної корозії після нагрівання зразків протягом 100 год за нейнебезпечніших температур

На практиці для хімічних апаратів використовують хромонікелеві сталі та з вищим умістом вуглецю, але при цьому потрібно враховувати її повний хімічний склад і умови експлуатації. Наприклад, у сталі з 18 % хрому та 9 % нікелю досить знизити вміст вуглецю до 0,045 %, щоб вона не набувала схильності до МКК після 100 год нагрівання за температури 550 °С. Для сталі з таким самим умістом хрому і 13 % нікелю необхідно знизити вміст вуглецю до 0,025 %. Графіки залежності стійкості хромонікелевих сталей (18 % хрому) від концентрації азоту показано на рис. 4.20. Як бачимо, азот, як і вуглець,

суттєво впливає на корозійну стійкість, оскільки за певних умов утворюються нітриди хрому, завдяки чому зменшується вміст вільного хрому.

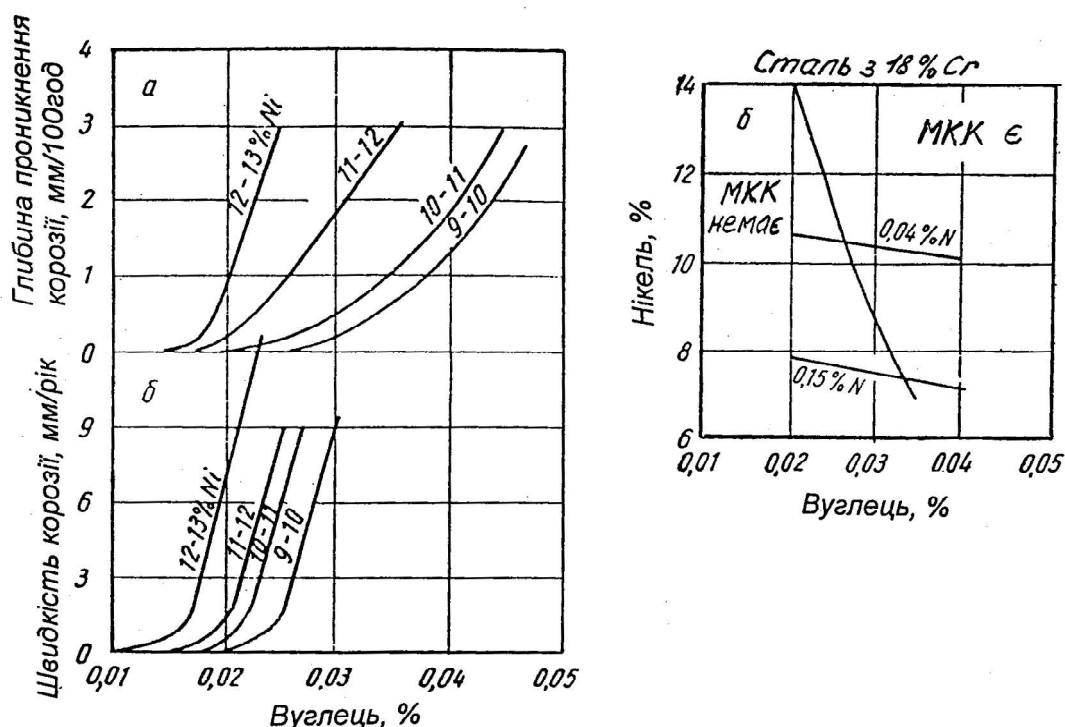


Рис. 4.20. Уплив нікелю, вуглецю та азоту на схильність сталі з 18 % Cr до міжкристалітної корозії після 100 год відпуску за температури 550 °C

4.4. Хромонікелеві сталі з титаном і міжкристалітна корозія

Титан уводять у сталь для усунення схильності до міжкристалітної корозії, оскільки він є сильним карбідоутворювальним елементом. Сполучаючись з вуглецем, який є в сталі, титан утворює карбіди типу TiC і тим самим запобігає утворенню карбідів хрому по границях зерен. Після відповідного термічного оброблення хромонікельтитаниста сталь визначеного складу не набуває схильності до МКК під час нагрівання в інтервалі небезпечних температур (550...850 °C).

Виходячи зі стехіометричного складу сталі, виведено формулу, яка визначає необхідний уміст титану в сталі типу X18H9 (у відсотках):

$$Ti \geq 5,5 (C - 0,02).$$

Але за такого співвідношення титану та вуглецю все ж утворюються карбіди хрому, і сталь втрачає стійкість до МКК (рис. 4.21). Оскільки титан має хімічну спорідненість з азотом, то він сполучається передусім з розчиненим у сталі азотом, утворюючи нітриди. Кількість титану, яка зв'язується в нітриди, розраховують за формулою

$$Ti \geq 3,43 (N - 0,02).$$

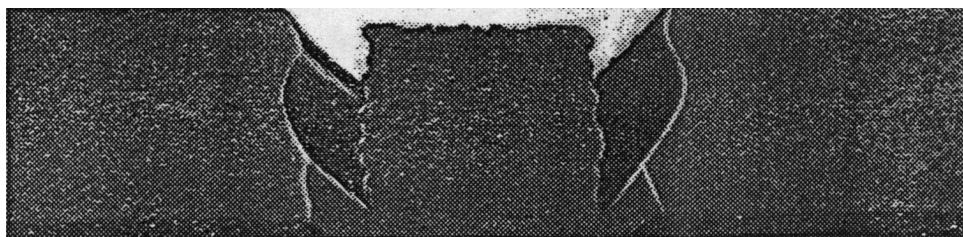


Рис. 4.21. Вигляд зварного зразка, ураженого ножовою корозією

Майже повна стійкість проти міжкристалітної корозії забезпечується необхідним термічним обробленням за співвідношення $Ti:C \geq 50:1$.

4.5. Хромонікелеві сталі з ніобієм і міжкристалітна корозія

Ніобій, як і титан, є потужним карбідоутворювальним елементом. Під дією помірних температур на аустенітні сталі ніобій у першу чергу сполучається з вуглецем, перешкоджаючи утворенню карбідів хрому. Ніобій уводять у хромонікелеві сталі теж для усунення схильності до міжкристалітної корозії.

У разі короткотривалого нагрівання та помірних температур (зварювання) для хромонікелевих сталей з вмістом 16...25 % хрому та 6...25 % нікелю вміст ніобію можна визначити за формулою

$$Nb \geq 0,93 + 7,7(C - 0,013) + 6,6(N - 0,22).$$

У цій формулі, окрім вуглецю C , ураховано і азот N , який зазвичай є в хромонікелевих сталях. Залежність інтенсивності корозії сталі $Cr - Ni - Nb$ від хімічного складу та режиму термічного оброблення показано на рис. 4.22.

Якщо конструкції експлуатуються в дуже важких умовах корозії, особливо коли вони піддаються тривалому нагріванню в інтервалі 450...800 °C, необхідно, щоб вміст ніобію в сталі був у 10...12 разів більшим за вміст вуглецю.

4.6. Методи контролю корозійностійких сталей на схильність до міжкристалітної корозії

4.6.1. Основні методи

Виникнення схильності до МКК сталей і сплавів залежить не тільки від стану металу, а й від властивостей корозійного середовища, що контактує з конструкцією. Сірчана, азотна, фосфорна, оцтова, мурашина кислоти та їх суміші, морська вода, водяна пара високого тиску та інші агресивні середовища можуть спровокувати МКК.

В умовах експлуатації неіржавкі сталі піддаються МКК у різних середовищах по-різному, іноді процес її розвитку дуже тривалий. Але особливістю розвитку МКК є те, що процес не супроводжується будь-якими зовнішніми проявами, а руйнування відбувається зненацька. Тому МКК вважається одним з найнебезпечніших видів корозії.

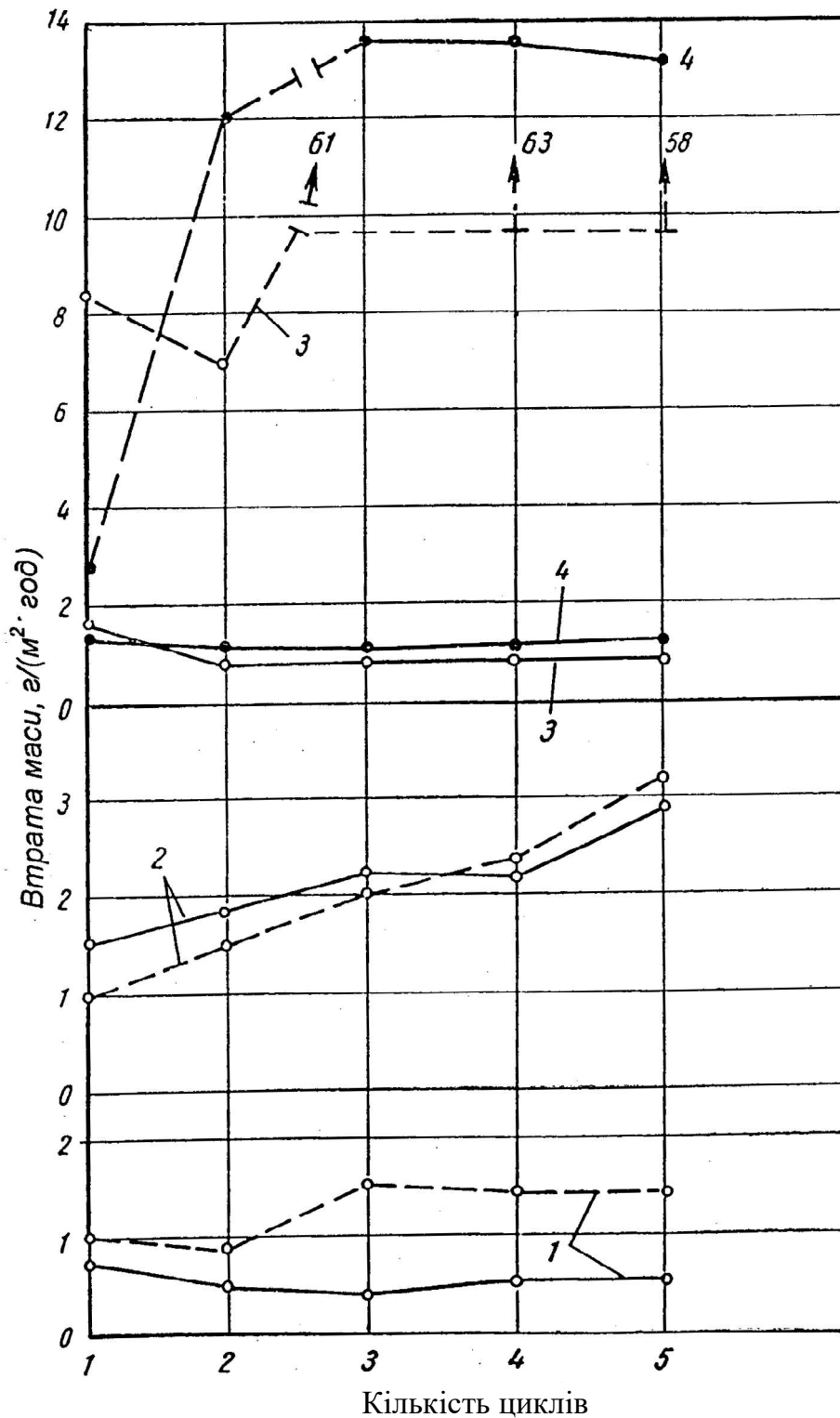


Рис. 4.22. Вигляд різних режимів термічного оброблення (суцільні лінії – 1050 °С, повітря; штрихові лінії – 650 °С протягом 30 хв) сталей типу X18H8 з ніобієм на корозійну стійкість у киплячій азотній кислоті: 1 – сталь X18H9 з 0,1 % С, 1,55 % Nb, 0,068 % N; 2 – сталь X18H11 з 0,04 % С, 0,33 % Nb, 0,068 % N; 3 – сталь X18H9 з 0,12 % С, 0,66 % Nb, 0,07 % N; 4 – сталь X18H9 з 0,16 % С, 1,55 % Nb, 0,026 % N

Через довготривалий процес розвитку МКК натурні випробування матеріалів на стійкість проти неї є неприйнятними. В умовах виробництва хімічної апаратури необхідне швидке оцінювання якості кожної партії металу та напівфабрикатів неіржавких сталей і сплавів.

Методи випробувань корозійностійких сталей і сплавів на стійкість до МКК унормовані ГОСТ 6032–89 [7].

Залежно від хімічного складу (марки) сталі або сплаву та їх призначення обирають один із п'яти основних методів АМ, АМУ, АМУФ, ВУ, ДУ або із трьох додаткових – В, ТЦК, Б. В умовних назвах літери позначають: А, Б, В, Д – найменування методів, М – проведення випробувань за наявності міді в розчині, Ф – проведення випробувань за наявності іонів фтору в розчині, У – проведення прискорених випробувань, ДУ – проведення удосконалених випробувань травленням у щавлевій кислоті.

Метод АМ. Зразки металу витримують у киплячому водному розчині сірчаної кислоти та сірчаноокислої міді у співвідношенні 1000 мл дистильованої води +130г CuSO_4 +120мл H_2SO ($\rho=1830 \text{ кг/м}^3$). Випробування проводять у скляній колбі зі зворотним холодильником або в бачку із корозійностійкою стабілізованою хромонікелевою сталі, спорядженому зворотним холодильником. На дно реакційної посудини насипають шар мідної стружки, а зверху завантажують зразки. Реакційну посудину заповнюють випробувальною рідиною не менш як на 20 мл вище від поверхні зразків. Залежно від марки сталі тривалість кип'ятіння – від 15 до 24 год. Для виявлення міжкристалітної корозії після витримання в киплячому розчині зразки загинають на кут $90^\circ+3^\circ$ радіусом, не більшим за 10 мм і досліджують їх за допомогою лупи ($\times 8 \dots 12$) на предмет наявності мікротріщин. Зразок вважають таким, що витримав випробування, якщо тріщини не виявлені.

У тих випадках, коли загнути зразок неможливо, проводять металографічні дослідження травлених шліфів. Переглядають і фотографують шліфи за їх збільшення в 300–400 разів. Ознакою браку є руйнування границь зерен на глибину, більшу за 30 мкм за підвищеної травимості границь зерен по всій поверхні шліфу та на глибину, більшу за 50 мкм за підвищеної травимості границь одиночних зерен.

За методом АМ контролюють на МКК сталі таких марок: 20Х13Н4Г9, 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 08Х18Г8Н2Т, 03Х16Н15М3Б, 03Х17Н14М3, 08Х17Н13М2Т, 09Х16Н15М3Б, 12Х18Н9Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х17Н15М3Т0, 04Х18Н10, 08Х18Н10, 08Х18Н10Т, 08Х17Т, 12Х118Н110Т, 12Х18Н10Е, 06Х18Н11, 03Х18Н11, 03Х18Н12, 08Х18Н12Т, 08Х18Н12Б, 08Х17Т, 09Х15Н8Ю, 07Х16Н6, Х17Н7Ю, 08Х17Н5М3, 12Х17Г9АН4, 07Х21Г7АН5, 10Х14Г14Н3, 10Х14Г14Н4Т, 10Х14АГ15.

Метод АМУ. Зразки металу витримують у киплячому водному розчині сірчаноокислої міді та сірчаної кислоти підвищеної концентрації порівняно з

методом АМ за наявності металевої міді. Метод є прискореним і Застосовують для тих самих марок, що й метод АМ за винятком марок: 20Х13Н4Г9, 10Х14Г14Н3, 10Х14Г14Н4Т, 10Х14АГ15, 09Х15Н8Ю, 07Х16Н6, 12Х17Г9АН4, 08Х18Г8Н2Т, для яких тривалість витримування в розчині за методом АМ становить 15 год.

Склад розчину для кип'ятіння зразків: 1000 мл дистильованої води, 50 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ та 250 мл H_2SO_4 ($\rho = 1830 \text{ кг/м}^3$).

Тривалість витримування зразка в розчині становить 8 год. Виявлення МКК та оцінку результатів випробувань здійснюють, як і за методом АМ.

Метод АМУФ. Зразки сталі витримують за температури 20...30 °С у водному розчині сірчаної кислоти, сірчаної кислоти та фтористого натрію за наявності металевої міді.

Метод є прискореним порівняно з методами АМ та АМУ і Застосовують для тих же марок сталей, що й метод АМУ

Склад розчину для випробувань: 1000 мл дистильованої води, 50 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 250 мл H_2SO_4 ($\rho = 1830 \text{ кг/м}^3$) та 128 г HF. Допускається замість фтористого водню додавати фтористий натрій масою 177 г. Готують та випробовують розчин у поліетиленовій посудині. Тривалість витримування зразків у розчині – 2 год для сталей без молібдену та 3 год за наявності молібдену.

Виявляють МКК та оцінюють результати, як і за методами АМ, АМУ.

Метод ВУ. Зразки сталі або сплавів витримують у киплячому водному розчині сірчаної кислоти заліза та сірчаної кислоти. Метод призначений для контролю сталі марки 03Х21Н12М4ГБ і сплавів на залізнікелевій основі марок 06ХН28МДТ і 03ХН28МДТ.

Склад розчину для кип'ятіння зразка: 1000 мл 50 %-ї сірчаної кислоти ($\rho = 1395 \text{ кг/м}^3$) та 40 г $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Кількість розчину на 1 см^2 площі поверхні зразка має бути не меншим за 5 см^3 . Тривалість витримування зразків у киплячому розчині – 48 год. Кип'ятіння проводять безперервно, не допускаючи нагрівання холодильника.

Виявляють МКК та оцінюють результати випробувань, як і за методом АМ. Після виявлення МКК у сплавах 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ за методом ВУ допускається повторно проводити випробування за методом В.

Метод ДУ. Зразки сталі або сплавів витримують у киплячому 65 %-му водному розчині азотної кислоти ($\rho = 1391 \text{ кг/м}^3$). Метод призначений для контролю сталей марок 03Х16Н15М3, 03Х17Н14М3, 03Х18Н11, 03Х18Н12.

Перед випробуванням зразки маркують і вимірюють довжину, ширину або діаметр, при цьому похибка вимірювання не може перевищувати 0,1 мм. Потім зразки знежирюють, промивають, висушують і зважують на аналітичних терезах (допустима похибка визначення маси не більше за 0,1 мг).

Випробування проводять у скляній колбі зі зворотним холодильником.

На дно кладуть скляні буси, трубочки або фарфорові човники, поверх яких завантажують зразки сталі. Зразки заливають розчином азотної кислоти із розрахунку 10...20 см³ на 1 см² поверхні зразка. Розчин кип'ятять у витяжній шафі.

Час випробувань 5 циклів – по 48 год кожний. Після 48 год кип'ятіння зразки виймають з колби, промивають, просушують і зважують. Після заміни розчину зразок завантажують знову.

Для оцінювання МКК визначають швидкість корозії $v_{\text{кор}}$ за залежностями:

$$v_{\text{кор}} = 10^4 \frac{m}{st}, \text{ г/(м}^2 \text{ рік)};$$

$$v_{\text{кор}} = 8,76 \cdot 10^4 \frac{m}{\gamma st}, \text{ мм/рік.}$$

де m – втрата маси зразка, г; s – поверхня зразка, що випробовується, см²; t – тривалість кип'ятіння, год; γ – питома маса сталі або сплаву, г/см³.

Зразки вважають такими, що не витримали випробувань, якщо швидкість корозії сталі, зварних швів, наплавленого металу або шва після другого та наступних циклів більша за 0,5 мм/рік, а також, якщо швидкість корозії зварного з'єднання не більша за 0,5 мм/рік, але/або навколошовна зона та зона термічного впливу піддалась підвищеній травимості порівняно з основним металом. Оглядати зразок треба зі збільшенням, не меншим ніж у 7 разів. Зразки також вважаються такими, що не витримали випробувань, якщо середня глибина розтравлювання навколошовної зони або зони термічного впливу чи металу шва не менша, ніж така, що на 30 мкм перебільшує розтравлювання основного металу.

4.6.2. Додаткові методи

Метод В. Зразки сталі або сплаву витримують у розчині сірчаної кислоти міді та сірчаної кислоти з додаванням цинкового порошку. Метод застосовують для повторного контролю сплавів 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ.

Склад розчину для випробувань: 1000 мл води дистильованої, 110 г $\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ та 55 мл H_2SO_4 ($\rho=1830$ кг/м³). Випробування проводять у скляній колбі або в посудині із сплаву на залізонікелевій основі, споряджених зворотним холодильником. На дно реакційної посудини кладуть скляні буси або трубки чи фарфорові човники, поверх яких завантажують зразки. Потім посудину заповнюють розчином для випробувань не менше ніж на 20 мм вище від поверхні зразка і додають цинковий порошок по 5 г на кожні 1000 мл розчину. Коли бурхлива реакція виділення водню закінчиться, реакційну посудину з'єднують з холодильником.

Тривалість витримування зразків у розчині – 144 год. Розчин кип'ятять безперервно, не допускаючи нагрівання холодильника.

Оброблюють зразки після випробувань, виявляють МКК та оцінюють результати випробувань так само, як і за методом АМ.

Метод ТЩК. Застосовують для попереднього оцінювання зразків сталі типу 03X18H11, що підлягає контролю за методом ДУ. Зразки сталі піддають анодному травленню в 10 %-му розчині шавлевої кислоти. Металографічні дослідження протравленої поверхні шліфа проводять зі збільшенням у 300...500 разів.

Метод Б. Сталь піддають анодному травленню у водному розчині інгібованої сірчаної кислоти. Метод застосовують для контролю виробів і деталей, виготовлених зварюванням, гарячим штампуванням і гнуттям із сталей марок: 12X18H9, 12X18H9T, 04X18H10, 08X18H10, 12X18H10T, 08X18H10T, 03X18H11, 06X18H11, 10X18H12T, 12X17H12T.

Установка для анодного травлення, схему якого показано на рис. 4.23, включає свинцеву посудину (катод) 1, гумову манжету 2, зразок 3, джерело постійного струму 4, амперметр 5 з ціною поділки шкали не більше 0,1 А, реостат 6, перемикач 7.

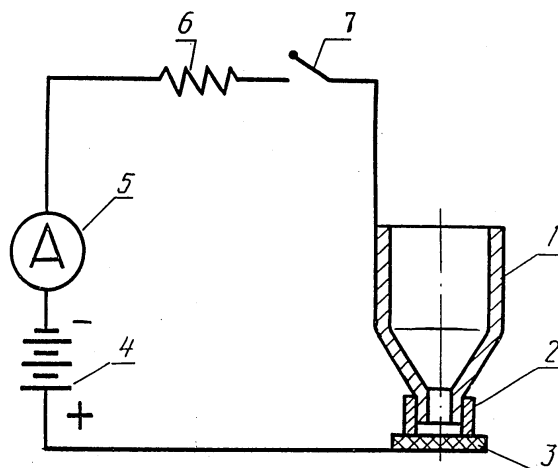


Рис. 4.23. Схема установки для анодного травлення зразка: 1 – свинцева посудина; 2 – гумова манжета; 3 – зразок; 4 – джерело постійного струму; 5 – амперметр з ціною поділки, не більшою за 0,1 А; 6 – реостат; 7 – перемикач

Середовище для травлення містить 1000 мл 60 %-ї сірчаної кислоти ($\rho=1830 \text{ кг/м}^3$) і 20 мл 0,5 %-го розчину уротропіну.

Поверхні ділянок, що підлягають контролю, полірують до шорсткості $R_a < 0,8 \text{ мкм}$.

Випробування проводять анодним травленням контрольованих ділянок поверхні деталі, яку вмикають у коло постійного струму за густини $6,5 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$ (катодом є свинцева посудина). Тривалість випробування після вмикання струму 5 хв.

Стійкість сталі до МКК оцінюють, розглядаючи пляму, яка виникла на поверхні зразка. Ознакою схильності до МКК є наявність безперервної сітки в місцях анодного травлення (рис. 4.24).

Металеві заготовки із стабілізованих титаном і ніобієм та нестабілізованих низьковуглецевих (вміст вуглецю не більше 0,03 %) сталей і сплавів, призначених для вирізки зразків, потрібно перед випробуванням піддати термічному обробленню, вказаному в нормативно-технічній документації на металопродукцію, і додатково провокуючому нагріванню за режимами, наведеними в табл. 4.1.

Без провокуючого нагрівання випробують сталі, які не піддаються тепловому обробленню або зварюванню, наприклад, нагартвані або напівнагартвані, а також сталі 03X17H25M3 і 03X16H25M3, які випробовують методом ДУ.

Призначення теплового оброблення полягає в досягненні такої загальної умови: метал випробуваного зразка має перебувати в такому ж структурному стані, що й метал конструкції в робочих умовах, включаючи зварні шви.

Таблиця 4.1. Режими термічного оброблення зразків сталей і сплавів для випробувань на МКК

Марка сталі або сплаву	Температура, °C	Час нагрівання, хв	Охолодне середовище
08X17T, 15X25T	1080...1120	30	вода або повітря
08X22H6T, 08X2H6M2T	540...560	60	повітря
08X18Г8H2T, 03X21M4Г5	690...710	60	повітря
03XH28MДТ, 06XH28MДТ	640...660	20	повітря
Решта нестабілізованих і стабілізованих низьковуглецевих сталей і сплавів (вміст вуглецю не більше 0,03 %)	—	60	повітря

Покриті електроди, зварювальний дріт і наплавну стрічку контролюють на схильність до МКК, випробуючи наплавлений метал або метал зварного шва, виконані відповідними присадковими матеріалами.

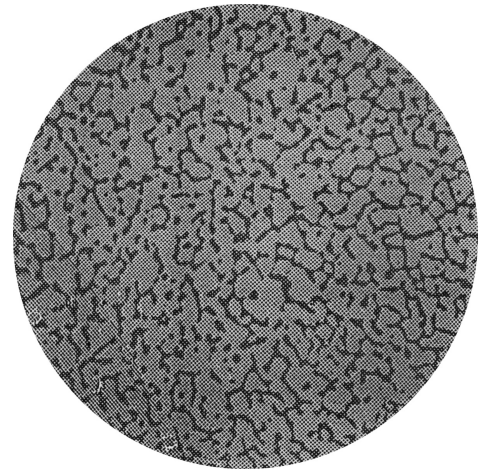


Рис. 4.24. Сітка в місцях анодного травлення як ознака до міжкристалітної корозії

5. ГАЗОВА КОРОЗІЯ НЕІРЖАВКИХ СТАЛЕЙ В АТМОСФЕРІ ГАРЯЧОГО ПОВІТРЯ ЗА ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

Крім групи інертних, більшість газів і складних газових середовищ взаємодіють з металами за високих температур, утворюючи відповідні хімічні сполуки.

Найбільш поширена взаємодія металів і сплавів відома як окалиноутворення, а опір окисненню – як окалиностійкість.

Крім кисню повітря та інших газових середовищ неіржавкі сталі можуть взаємодіяти з будь-якими газовими складовими газового середовища. Наприклад, за наявності сірки в топкових газах виникає сульфідна корозія, яка глибоко уражає метал по границях зерен. У відновній атмосфері за наявності вуглеводнів відбувається науглецювання, а у водневмісних середовищах під тиском – руйнування від водневої корозії.

Корозія в газових середовищах за високих температур може проходити на межі поділу фаз (поверхні металу), в об'ємі металу та по границях зерен. Швидкість корозії, якщо вона рівномірна, залежить від процесів взаємодії металу та газу на поверхні розділу фаз і характеру продуктів корозії, які утворились, – щільності, адгезійних властивостей та опору дифузії газів або металів через окисний шар на поверхні конструкції.

5.1. Окиснення та протидія йому неіржавких сталей

За високих температур стійкість неіржавких сталей залежить від їх складу, температури, швидкості нагрівання та охолодження, дії прикладених навантажень, складу та структури оксидів на поверхні конструкції, складу газового середовища, де відбувається окиснення металу за високих температур, тиску та наявності в цьому середовищі частинок (дим, золи), що осідають на металі.

Механізм окиснення досить складний, оскільки в процесі реакцій утворюється шар оксидів, який розділяє реагуючі речовини. Тому подальше окиснення триває лише тоді, коли реагуючі речовини мають можливість дифузії через шар окалини, що утворилась. Якщо окалина непориста, швидкість окиснення визначається швидкостями дифузії кисню та іонів металу через шар оксидів.

Швидкість дифузії залежить від властивостей оксидної плівки – щільності, пористості, тугоплавкості, леткості, міцності адгезії оксиду до металу, пластичності, коефіцієнта температурного відносного лінійного розширення. Якщо оксиди не досить тугоплавкі, то за температури спікання вони втрачають свої захисні властивості. Часто температура початку спікання порошку оксидів становить приблизно 50...60 % рівня температури їх плавлення.

Швидкість окиснення вимірюють втратами металу у вигляді оксидів (зразок зважують до початку окиснення та після очищення від окалини) або за приростом маси зразка за рахунок приєднання кисню.

Графічно залежність інтенсивності окиснення від температури для нікелю та деяких сталей і сплавів показано на рис. 5.1 і 5.2, з яких видно, що при-
садки хрому, алюмінію, нікелю, кремнію до заліза та його сплавів підвищують його стійкість проти окиснення.

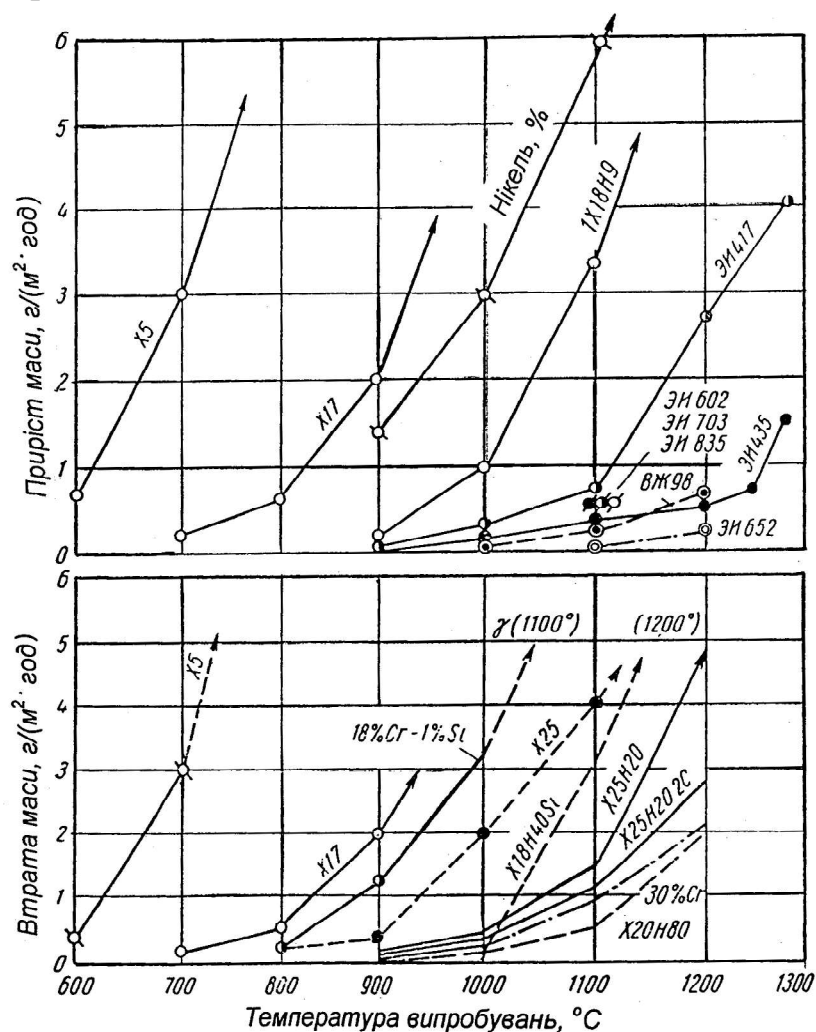


Рис. 5.1. Зміна втрат маси сталей і сплавів з підвищенням температури випробувань

Подібна захисна дія ґрунтується на тому, що вони, входячи до складу сплаву, утворюють на його поверхні стійкі тугоплавкі оксидні плівки, які щільно пристають до металу. Ці плівки утруднюють дифузію іонів металу та кисню через себе і тим самим перешкоджають підсиленому окисненню сплавів. Часто оксидні плівки складаються не з одного шару, а з декількох, які являють собою тверді розчини оксидів або змішані фази з неоднаковою концентрацією складових по товщині плівки. Приклад металографічного знімка оксидного шару подано на рис. 5.3. Хром, алюміній, кремній, цирконій, церій, берилій та інші утворюють тугоплавкі оксиди, і введення їх у залізо та залізонікелеві сплави підвищує їх стійкість проти окиснення. Найбільший вплив справляє хром, який входить до складу окалиностійких, неіржавких сталей і жароміцних сплавів.

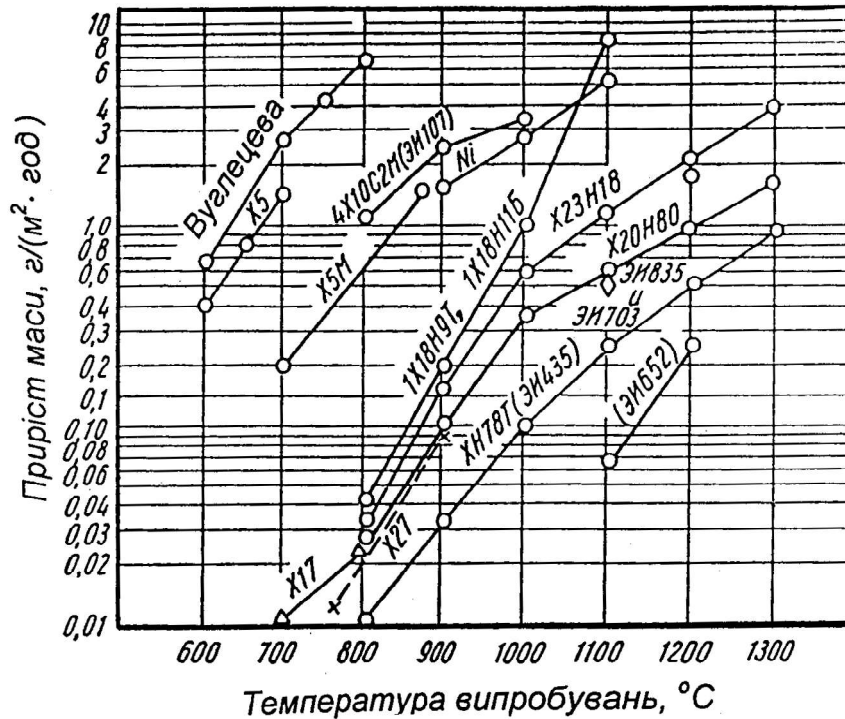


Рис. 5.2. Залежність приросту маси різних сталей і сплавів від температури випробувань

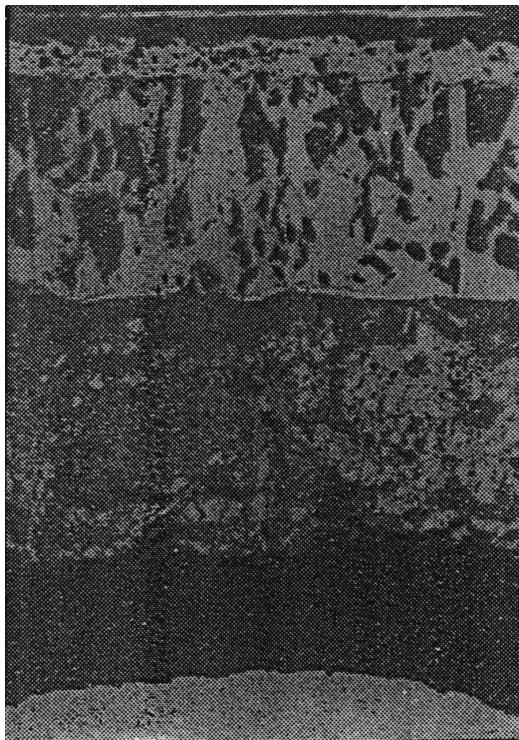


Рис. 5.3. Структура окалини на залізі після нагрівання протягом 5 год

Тугоплавкі оксиди хрому, алюмінію, кремнію які містяться переважно у внутрішньому шарі окалини, що безпосередньо примикає до поверхні сталі, а поверхневий шар металу, який лежить під оксидами, часто збіднюється цими ж елементами. При хімічній дії газового середовища з металом на поверхні жаростійкого металу захисний шар пристосовується своєю структурою до структури металу: кристалічна ґратка металу начебто продовжує свою будову в новій оксидній фазі, яка на ній утворилась.

Кристалічна ґратка нової фази, яка виникає внаслідок реакцій, спряжується з кристалічною ґраткою початкової фази подібними кристалографічними площинами, параметри яких мінімально відрізняються один від одного. Це свідчить про те, що оксидні плівки утворюються з мінімальною витратою енергії. Перехідний шар між основним металом та оксидною плівкою забезпечує достатню міцність зв'язку між ними і відіграє вирішальну роль у забезпеченні жаростійкості металу.

новним металом та оксидною плівкою забезпечує достатню міцність зв'язку між ними і відіграє вирішальну роль у забезпеченні жаростійкості металу.

У разі перегрівання легованої сталі або недостатності легувальних елементів (хрому, алюмінію, кремнію) у великій кількості утворюються пористі оксиди заліза, що сприяє посиленій дифузії кисню та іонів металу, внаслідок чого інтенсифікується процес окиснення.

5.2. Уплив легувальних елементів на окалиностійкість неіржавких сталей

Уплив хрому. Хром є основним елементом, що підвищує окалиностійкість неіржавких і жароміцних сталей і сплавів. Його наявність стає помітною за концентрації близько 5 %. П'ятивідсоткові хромисті сталі мають відчутний опір окисненню за температури 600...650 °С, що вище окалиностійкості вуглецевої сталі приблизно на 100...150 °С.

Неіржавкі 13 %-ві хромисті сталі стійкі проти окиснення до 750...800 °С, сталі з 18...20 % хрому – до 900...1000 °С, а сталі з 25...28 % хрому до 1100... 1150 °С. Підвищений уміст хрому в залізі зсуває в бік більших температур початок інтенсивного окиснення сталі та появи кольорів мінливості на поверхні металу (табл. 5.1).

Таблиця 5.1. Температура, °С, появи кольорів мінливості

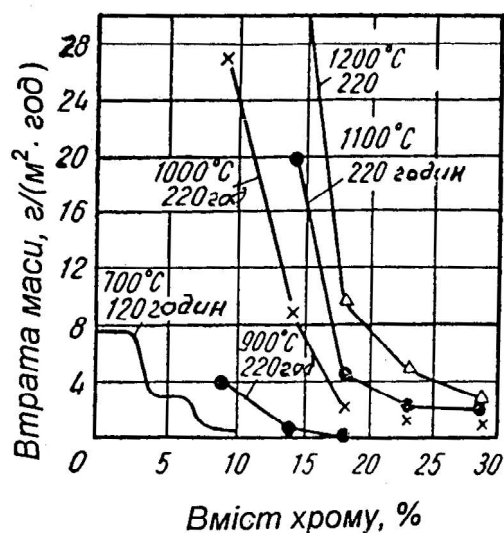
Кольори мінливості	13 %-ва хромиста сталь	Вуглецева сталь
Солом'яно-жовтий	300...400	220...240
Оранжевий	400...500	240...260
Червоно-фіолетовий	500...600	260...280
Синій	600...700	280...300
Сірий	Понад 700	Понад 350

Таким чином, збільшення вмісту хрому зменшує товщину оксидної плівки на полірованій поверхні сталі.

Висока жаростійкість хромовмісних сталей і сплавів зумовлена утворенням на їх поверхні надміцного тугоплавкого оксиду або оксидів типу $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$.

Металевий хром під час нагрівання окиснюється з утворенням єдиного оксиду типу Cr_2O_3 . Цей оксид стійкий у широкому діапазоні температур за будь-якої товщини плівки і має хороші захисні властивості. Утворена на поверхні металу в процесі окиснення хрому оксидна плівка не змінює своїх властивостей під час охолодження в атмосфері водню.

У залізохромистих сплавах чистий оксид хрому утворюється тільки за дуже високих умістів хрому (30 % і вище), а за менших окалина має складну структуру типу $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$. У зв'язку з тим, що Fe_2O_3 і Cr_2O_3 мають близькі параметри кристалічної ґратки та ідентичність формули.



Уплив концентрації хрому на окалиностійкість сталі показано на рис. 5.4. Чим вища температура, тим більший уміст хрому потрібен для забезпечення потрібної жаростійкості. Суттєво знижується стійкість проти окиснення з підвищенням умісту вуглецю в сталі, про що свідчать дані, наведені в табл. 5.2

Рис. 5.4. Вплив хрому на окалиностійкість заліза за різних температури і тривалості випробувань

Уплив нікелю. Присадка нікелю до залізохромистих сталей діє сприятливо на структуру, міцність та окалиностійкість в окисному середовищі (рис. 5.5). Лише у сірководні або сірчанистому газі нікель може справляти негативний вплив.

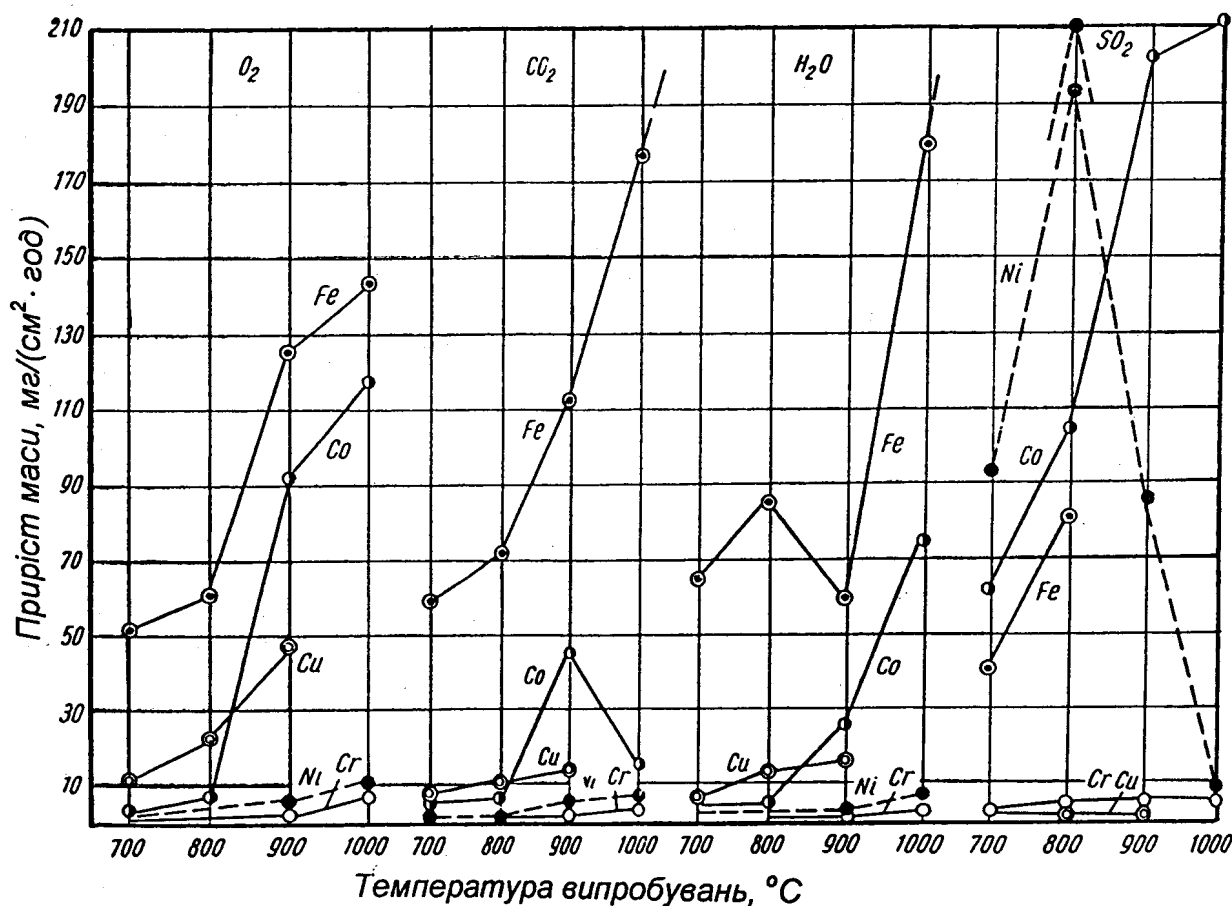


Рис. 5.5. Залежність зміни маси Fe, Ni, Cr, Cu, Co від температури випробувань у різних середовищах

Таблиця 5.2. Вплив вуглецю на окалиностійкість хромистої сталі

Хімічний склад (масова частка), %		Утрата маси, г/(м ² ·год) за температури	
C	Cr	1000 °C	1100 °C
0,12	23,9	7,9	21,3
0,28	21,7	8,4	23,0
0,53	21,5	9,0	22,4
1,72	20,3	10,2	26,1

Нікель нарівні з хромом підвищує жаростійкість сталей і сплавів, і особливо відчутно це виявляється в разі досить високих його вмістів (рис. 5.6). У хромонікелевих сплавах без заліза (ніхром) присадка нікелю суттєво підвищує їх жаростійкість. Наприклад, сплав з 80 % нікелю та 20 % хрому має вищу жаростійкість, ніж сталь з 25 % хрому та 20 % нікелю.

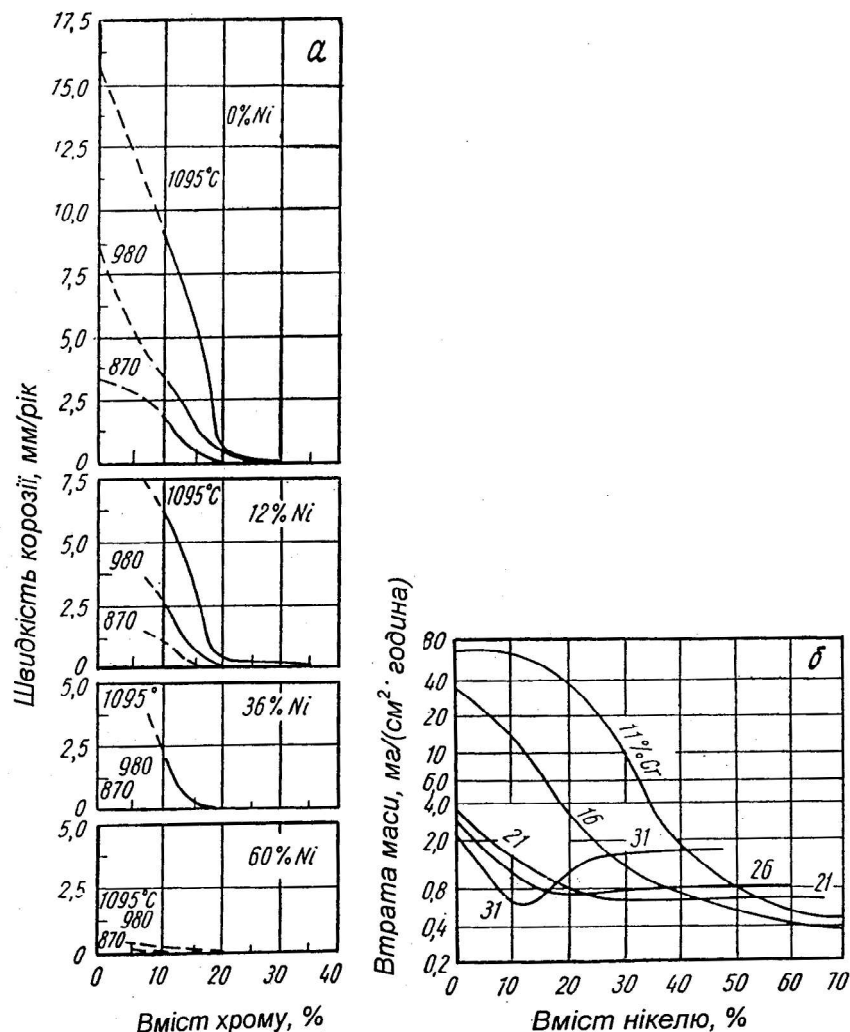


Рис. 5.6. Уплив хрому й нікелю на окалиностійкість залізохромонікелевих сталей за різних температур (а) і за температури 1000 °C (б)

Нікельхромові сплави широко застосовують як окалиностійкі в тих випадках, коли продукти згоряння не містять великої кількості сполук сірки.

Уплив марганцю. У легованих хромистих і хромонікелевих жаростійких сталях з марганцем останній дещо негативно впливає на опір окисненню, утворюючи більш розсипчасту та неміцно з'єднану з металом окалину, особливо, коли марганцю більше ніж 10 %. У сталях з меншим умістом марганцю (близько 6 %) його негативний вплив мало відчутний. Внаслідок легування такою кількістю марганцю можна отримати жароміцну сталь за досить задовільної жаростійкості.

Уплив кремнію. Уведення кремнію в залізохромисті або залізонікелеві сплави виявилось ефективним і повсюдно використовується в промисловості. Значного підвищення жаростійкості цих сталей внаслідок присадки кремнію досягають у сильхромах, у хромонікелевих сталях типу X18H8 і X25H20.

Висока жаростійкість хромокремнистих сплавів зумовлена наявністю захисної плівки, яка складається з оксидів хрому та кремнію.

Кремній сприятливо впливає на підвищення жаростійкості за умов роботи конструкції в окисній атмосфері. У відновній атмосфері, наприклад, у продуктах згоряння колошникового газу, вплив присадки кремнію майже не відчувається.

За наявності водяної пари в разі високих температур хромокремністі сталі руйнуються швидше, ніж чисто хромові сплави.

Присадка кремнію до сталі типу X25H20 у кількості 2...3 % дуже підвищує опір цих сталей окалиноутворенню в окисному середовищі продуктів згоряння палива з підвищеним умістом сірки.

Уплив алюмінію. Додавання алюмінію до заліза сприяє утворенню на поверхні сплаву більш стійкої окисної плівки, яка за великого вмісту алюмінію складається з Al_2O_3 .

У разі введення 7...8 % Al залізоалюмінієві сплави набувають майже такої самої жаростійкості, як і ніхром типу H80X20.

Широкого застосування як елементів високого електроопору під час виготовлення нагрівних електропечей набули потрібні залізохромоалюмінієві сплави.

Отже, хром та алюміній сприяють різкому підвищенню жаростійкості в разі введення їх у залізо. Наприклад, сплави, що містять близько 25 % хрому та 5 % алюмінію мають надзвичайно високу жаростійкість за температур до 1300 °C. Сплави з 65 % хрому та 10 % алюмінію за температури 1400 °C мають втрати маси 0,25 г/(м²·рік).

5.3. Корозія високолегованих сталей і сплавів у газових середовищах за високих температур

Неіржавкі та окалиностійкі сталі та сплави, окрім нагрівання в атмосфері гарячого повітря, часто піддаються дії інших газів, до яких належать продукти згоряння палива, захисні контрольовані середовища термічного оброблення, газоподібні продукти, які використовуються як сировина.

У димових газах завжди містяться вуглецева кислота, монооксид вуглецю, водяна пара, вуглеводні та інші сполуки вуглецю. За наявності в паливі підвищеного вмісту сірки залежно від повноти згоряння димові гази можуть містити в собі сірчистий газ або сірководень. Нарівні з газоподібними продуктами в топкових газах можуть бути завислі тверді частинки золи, які осідають на метал і знижують його хімічну стійкість за високих температур. У деяких сортах нафти, а отже і в топкових мазутах, міститься ванадій, який у вигляді п'ятиоксиду ванадію виявляється в золі. Осідаючи на деталях з окалиностійких сталей і сплавів він різко зменшує їх захисні можливості та призводить до хімічного руйнування.

5.4. Газова корозія в атмосфері азоту

За температури 500 °C і вище сплави, збагачені хромом, алюмінієм, титаном, берилієм, взаємодіючи з азотом повітря, можуть утворювати нітриди (це широко використовується в технологічних процесах азотування). Присадки молібдену, ванадію і титану сприяють поглинанню азоту сплавом, присадки нікелю протидіють цьому. Така особливість високонікелевих сталей (доцільно разом з кремнієм) використовується для виготовлення арматури печей азотування, оскільки нітриди спричиняють крихкі руйнування конструкцій в разі тривалої експлуатації.

Атомарний азот навіть за помірних температур реагує з металом, у той час як молекулярний азот за таких самих температур більшістю сплавів не поглинається. За високих температур молекулярний азот стає активним, і сталі типу X25, X15H35, X25H20, X18H25, цілком інертні за помірних температур, активно поглинають азот за температур понад 1000 °C, а внаслідок утворюються нітриди легувальних елементів (рис. 5.7).

Нітриди надто небажані для нагрівних елементів електричного опору, оскільки їх утворення знижує концентрацію вільного хрому в твердому розчині, тим самим зменшуючи стійкість сплаву проти окиснення. Крім того, маючи інший коефіцієнт температурного відносного лінійного розширення та розміщуючись по границях кристалічних зерен, нітриди різко зменшують жаростійкість сплавів, особливо в умовах частих теплосмін.

Азот у залізохромистих сплавах, проникаючи в глибину металу, змінює склад і структуру сталі в поверхневому шарі за рахунок утворення голкоподібних відокремлень нітридів. Виникнення нітридів алюмінію та хрому призводить до зменшення вмісту вільних алюмінію та хрому, що є причиною зниження жаростійкості сплавів та їх руйнування.

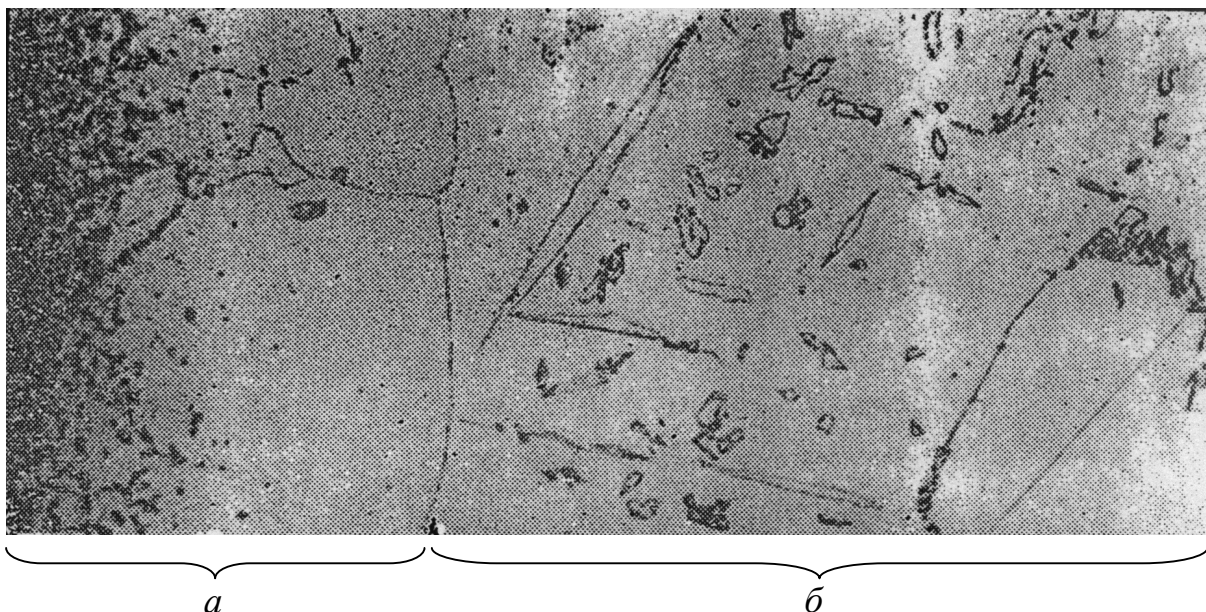


Рис. 5.7. Уплив нагрівання сталі (із умістом 19 % Cr, 2 % Si) на повітрі протягом 200 год за температури 1200 °C на зміну структури залежно від глибини поверхневого шару ($\times 100$):
a – на відстані 0,3 мм; склад поверхневого шару 0,32 % C, 2,23 % Si, 17,9 % Cr, 0,089 % N₂;
б – на відстані 1,3 мм; склад поверхневого шару 0,17 % C, 2,29 % Si, 19,3 % Cr, 0,065 % N₂

5.5. Газова корозія в топкових газах

Топкові гази містять кисень, вуглекислий газ, монооксид вуглецю, водяну пару та сірчистий газ. Кожний з цих газів діє на метали по-своєму особливо, що показано на рис. 5.5. Найвища опірність корозії в цих газах за робочих температур справляє хром. Кобальт і нікель малостійкі проти корозії в сірчистому газі, причому нікель максимально кородує за температури 800 °C.

Чисте залізо за температури 700 °C інтенсивно руйнується газовою корозією від всіх компонентів топкових газів.

Високолеговані хромисті та хромонікелеві сталі (в тому числі і сталі типу X18H8) справляють більш високу опірність корозії в середовищах топкових газів, а зміна співвідношень їх компонентів суттєво не позначається на загальній стійкості сталі.

Нікелеві сталі та ніхром різко знижують корозійну стійкість у сірчистому газі, але на відміну від чистого нікелю їх опірність газовій корозії з підвищенням температури зменшується. Для ілюстрації наводимо порівняльні дані (табл. 7) про збільшення маси зразка сталі типу X18H8 у різних середовищах за рахунок приєднання кисню та інших хімічних елементів.

Із порівняння даних таблиці випливає, що газове середовище печі, яке містить, крім кисню, водяну пару, вуглецеву кислоту та сірчистий газ, є більш хімічно агресивним, ніж чисте повітря. Найінтенсивніше метал кородує від спільної дії водяної пари та сірчистого газу.

Таблиця 5.3. Опірність газовій корозії сталі типу X18H8 і вуглецевої сталі за температури 900 °С

Газове середовище	Збільшення маси зразка, мг/см ³	
	з вуглецевих сталей	зі сталей типу X18H8
Чисте повітря	55,24	0,40
Атмосферне повітря	57,17	0,46
Чисте повітря +3 %SO ₂	65,17	0,86
Атмосферне повітря+2 % SO ₂	65,76	1,13
Атмосферне повітря +5 %H ₂ O+5 %SO ₂	152,4	4,58
Атмосферне повітря +5 % H ₂ O+5 %CO ₂	100,4	3,58
Чисте повітря+5 %SO ₂	76,88	3,24
Чисте повітря+5 %CO ₂	74,21	1,18

Оскільки більшість жароміцних сталей і сплавів у своєму складі мають карбідоутворювальний хром, наявність у газах CO₂ і CO, які навуглецьовують поверхневі шари сталі, призводить до утворення карбідів хрому та їх збіднення вільним хромом. Якщо ж у складі сталей є інші карбідоутворювальні елементи (ніобій, титан), то нарівні з карбідами хрому виникають карбіди титану та ніобію.

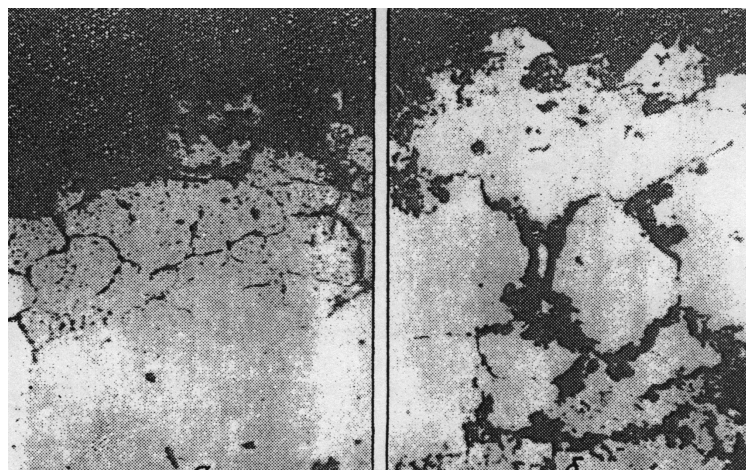
Навуглецювання жаростійких сталей і сплавів – несприятливий фактор, оскільки воно здебільшого спричинює зниження температури плавлення, що у свою чергу може призвести до оплавлення границь зерен. Наявність карбідів також негативно впливає на механічні властивості сталі.

5.6. Корозія в атмосфері газів, що містять сірку

Під час спалювання палива сірка, яка міститься в ньому, згоряє, і в газовому середовищі вона може бути у вигляді сірчистого газу (в окисній атмосфері) або у вигляді сірководню (у відновній атмосфері). Сірчані сполуки газових середовищ за високих температур є хімічно агресивними до металів, особливо до нікелю та кобальту (це наочно ілюструють графіки приросту маси – рис. 5.5), через що сталі та сплави з цими елементами інтенсивно руйнуються.

Нікель і його сплави, поглинаючи сірку з газового середовища печі, стають надто крихкими внаслідок утворення легкоплавких сульфідів. Вони схильні дифундувати в глибину металу по границях зерен, послаблюючи зв'язок між ними (рис. 5.8).

Сульфіди металів, наявні в жаростійких сплавах, мають відносно високу температуру плавлення, за винятком сульфідів нікелю. Однак температура плавлення сульфідів може різко знизитись внаслідок їх взаємодії з металом або його оксидами. Результатом такої взаємодії є утворення легкоплавких евтектик, які є причиною стрімкого зниження стійкості сплавів проти газової корозії за високих температур. Найбільший вплив сірки виявляється на нікелі та його сплавах. Вони, поглинаючи сірку із газів за високої температури, утворюють евтектику, яка плавиться за температури близько 645 °С.



a

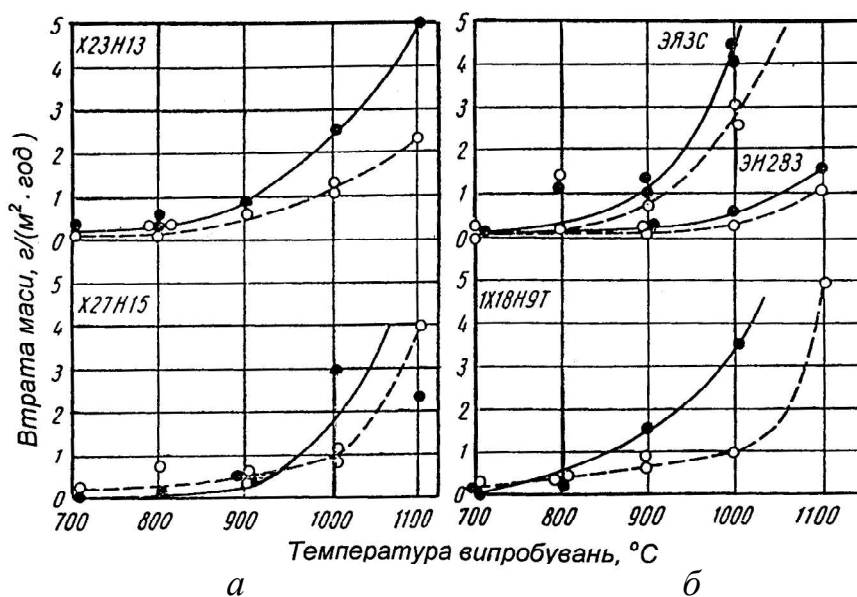
б

Рис. 5.8. Розповсюдження сульфідної корозії в хромонікелевій сталі після нагрівання протягом 200 год за температури 1000 °С в атмосфері продуктів згоряння світильного газу із умістом 2 % SO₃: *a* – сталь ЭЯЗС (4X18H25C2) – наскрізне ураження корозією; *б* – сталь X25H12

Легкоплавкі евтектики порушують зв'язок між зернами металу за високих температур, унаслідок чого знижуються жароміцність і жаростійкість. Сульфіди мають більший питомий об'єм, ніж метал, і завдяки цьому розростаються зруйновані газовою корозією ділянки.

Особливість сульфідної корозії полягає в тому, що руйнуванню піддаються передусім границі кристалічних зерен.

Корозійна стійкість хромистих або хромонікелевих сталей і сплавів збільшується з підвищенням умісту хрому і зменшенням умісту нікелю. Але захисна дія хрому в середовищі сірководню за температур понад 940 °С припиняється через появу легкоплавкої евтектики з оксидів і сульфідів заліза, які плавляться за температури 940 °С (рис 5.9).



a

б

Рис. 5.9. Стійкість хромонікелевих сталей у топкових газах із умістом 2...3 % SO₂ (*a*) і без нього (*б*)

Найвищу захисну дію порівняно з хромом справляє алюміній. За температури 400...450 °С збільшення вмісту алюмінію в сталях підвищує стійкість проти агресивності сірководню. За вищих температур і концентрації алюмінію до 2 % стійкість відчутно зростає.

Крім алюмінію, позитивний вплив на підвищення стійкості проти газової корозії жаростійких сталей справляє кремній.

5.7. Газова корозія в атмосфері водяної пари

За високих температур водяна пара дисоціює на водень і кисень. Такий кисень за температури 800 °С особливо агресивний, і руйнування відбувається найчастіше по границях зерен. Знижують стійкість у таких умовах навіть незначні домішки міді. Тому в мідневмісних сталях цю схильність послаблюють нікелем. Але за будь-яких умов неіржавкі хромонікелеві сталі та сплави інтенсивно окиснюються перегрітою парою.

У паросилових установках, які експлуатуються за середніх температур (200...500 °С), коли ще не відбувається розпаду водяної пари, перегріта пара спричинює крихкість металів. Максимального рівня крихкість досягає в інтервалі температур 400...500 °С.

Дослідження окалиноутворення показали, що газова корозія в перегрітій парі набагато інтенсивніша, ніж за такої самої температури в повітряній атмосфері. Залізо та низьколеговані сталі в перегрітій парі за температури 500 °С окиснюються приблизно у 2,5 разу активніше, ніж у нагрітому повітрі (рис. 5.10). У середовищі водяної пари хром і нікель мають найбільшу стійкість (див. рис. 5.5).

Найшвидше сталі та сплави окиснюються водяною парою протягом перших 500 год. Приблизно 70 % утрат металу у вигляді окалини припадає на перші 100 год за загальної тривалості випробувань 2000 год (рис. 5.11). Залежність швидкості окалиноутворення від температури середовища показано на рис. 5.12.

Практикою доведено, що присадка хрому справляє найбільший вплив на корозійну стійкість за температур випробування 500, 550, 600 °С (рис. 5.13, а, б); випробування виконувались за швидкості обтікання зразків парою 4...5 м/с, надлишкового тиску 0,03...0,06 МПа). Уміст кремнію в сталях у межах 0,02...0,4 % істотно підвищує стійкість хромистих сталей проти корозії в перегрітій парі (див. рис. 5.13, б). Для деяких сталей на рис. 5.14 показано графіки залежності окалиноутворення від часу за температури 500 °С.

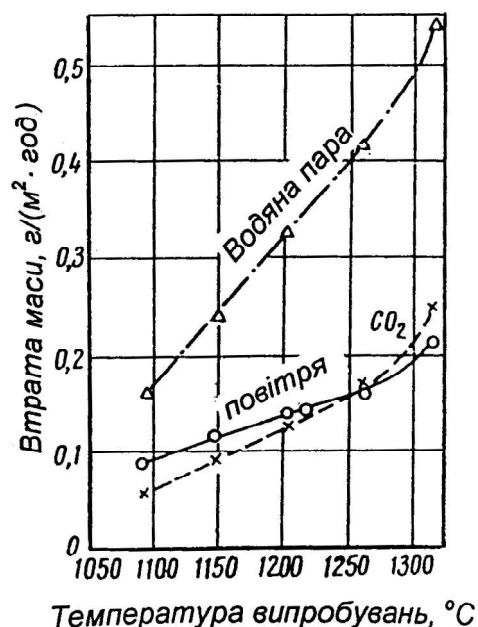


Рис. 5.10. Окиснення вуглецевої сталі з 0,15 % С за різної температури водяної пари та диоксида вуглецю

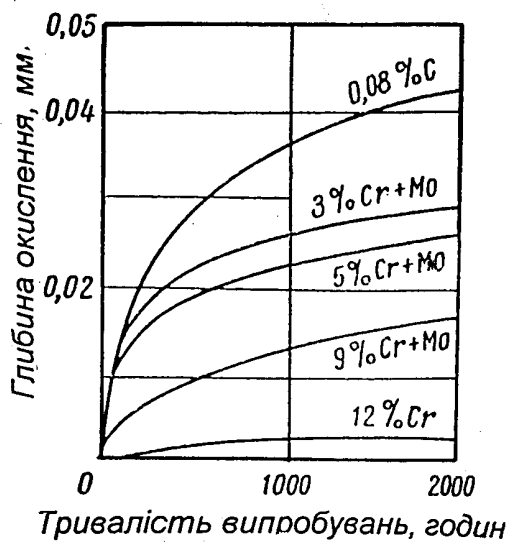


Рис. 5.11. Уплив тривалості випробувань на глибину окиснення вуглецевої та хромистих сталей з різним умістом хрому за різної температури в атмосфері водяної пари

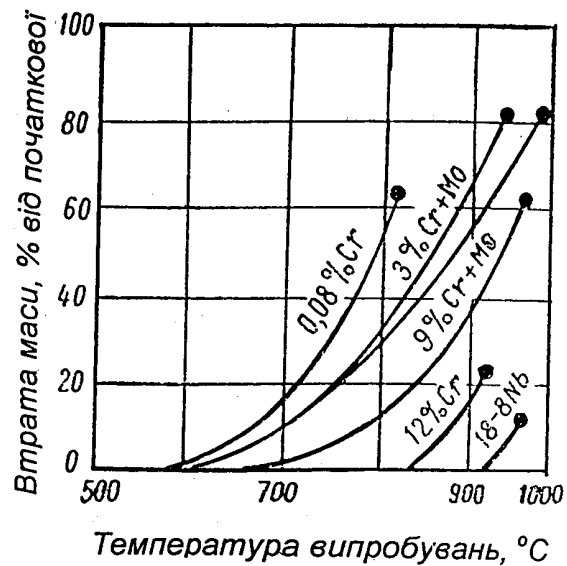
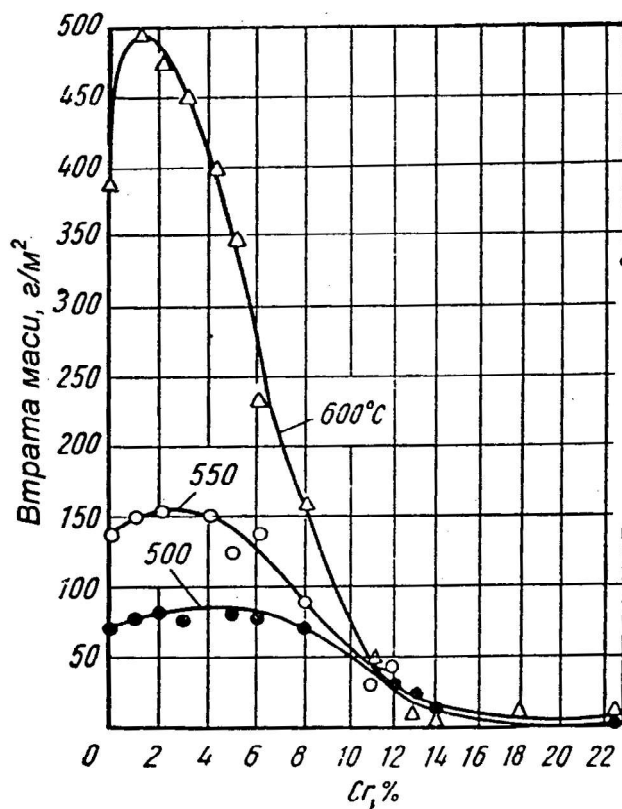
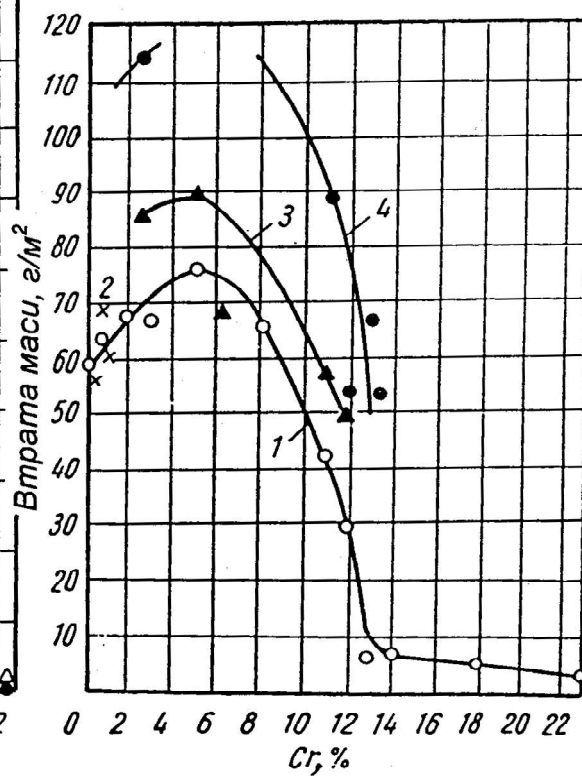


Рис. 5.12. Уплив температури випробувань на корозійну стійкість хромистих і хромонікелевих сталей в атмосфері водяної пари



а



б

Рис. 5.13. Уплив хрому (а), кремнію і хрому (б) за температури 500 °C на корозійну стійкість сталей у перегрітій водяній парі (тривалість випробувань 500 год):
1 – 0,26...0,32 Si; 2 – 0,25...0,28 Si; 3 – 0,19...0,22 Si; 4 – 0,02...0,13 Si

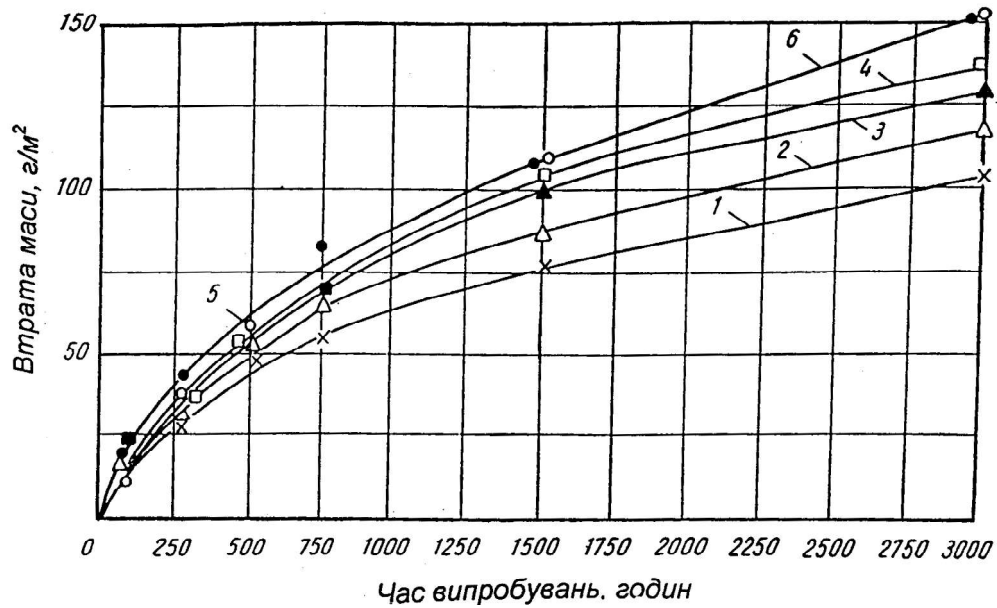


Рис. 5.14. Кінетичні криві окиснення хромистих сталей у водяній парі за температури 500 °С: 1 – 10X12МФ; 2 – 10X12МФБ; 3 – 10X12М2ФБ; 4 – 10X13МФ; 5 – ЭИ755; 6 – ЭИЗ9

Досвід експлуатації показує, що газова корозія розвивається з більшою швидкістю, якщо в технологічних процесах відбуваються теплозміни. Наявність теплозмін інтенсифікує процес окалиноутворення (рис. 5.15).

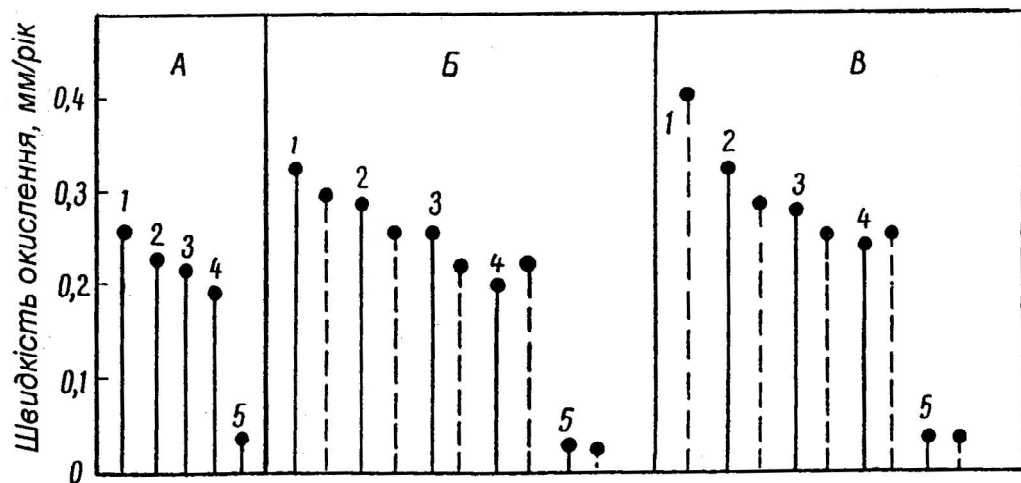


Рис. 5.15. Корозійна стійкість сталей у водяній парі за температури 650 °С: 1 – вуглецевої; 2 – 2 % Cr + 0,5 % Мо; 3 – 3 % Cr + 1 % Мо; 4 – 5 % Cr + 0,5 % Мо; 5 – 9 % Cr + 1,2 % Мо; а – за постійного витримування; б – 500 год за постійного витримування та 200 год у разі теплозмін (суцільна лінія – через 50 год, штрихова – через 100 год); в – 500 год за постійного витримування та 700 год у разі теплозмін (суцільна лінія – через 50 год, штрихова – через 100 год)

6. ХОЛОДНЕ ОБРОБЛЕННЯ ТА ОПІРНІСТЬ КОРОЗІЇ НЕІРЖАВКИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

Феритні та феритно-аустенітні неіржавкі сталі обробляються порівняно легко. Аустенітні сталі та сплави мають схильність до наклепу, навіть незначна деформація зумовлює суттєве зміцнення металу. Тому аустенітні сталі обробляти значно важче, ніж феритні та феритно-аустенітні, що є причиною частих поломок інструменту та пошкоджень оброблюваних поверхонь у вигляді задирок, подряпин, забоїн. Шорстка пошкоджена поверхня (наприклад, під час фрезерування можуть виникати дефекти у вигляді викидів частинок металу) є сприятливим фактором для розвитку корозії.

Для розмічання не потрібно накреслювати різальним інструментом допоміжні лінії та наносити керни, оскільки пошкоджені таким чином поверхні стають осередками розвитку корозії. Нанесення ліній і кернів допускається лише по кромках елементів розгортки, тобто по лініях різання. Маркування та позначення наносять фарбою.

Особливо важко оброблювати сплави. Наприклад, механічне оброблення сплавів можна виконувати тими самими різальними інструментами, що і сталі типу X18H10T, але з поправковими коефіцієнтами на швидкість різання в межах 0,6...0,7. Стійкість інструменту під час точіння зварного з'єднання припускають близькою до його стійкості під час оброблення основного металу.

Свердлення деталей із сплаву 06ХН25МД можна виконувати свердлами із швидкорізальної сталі Р18 з кутами $\alpha = 15^\circ$ і $2\phi = 150^\circ$. Режими свердлення: подача $s = 0,15 \dots 0,43$ мм/об за швидкості різання $v = 11 \dots 20$ м/хв.

Важливою умовою для досягнення високої стійкості інструменту є робота свердлами з короткою робочою частиною. Віб्राція таких свердел при рекомендованих геометричних параметрах незначна, що необхідно для нормальної роботи інструменту та підвищення його стійкості. На стійкість свердла великою мірою впливають швидкість різання та величина подачі s . Зі збільшенням s від 0,15 до 0,43 мм/об стійкість свердла зменшується в 7–8 разів. Під час свердління сплаву 06ХН28МДТ потрібно дотримуватись режимів, наведених у табл. 6.1.

Для покращення оброблюваності інколи в аустенітні сталі додають селен або сірку, що, на жаль, зменшує корозійну стійкість.

Оброблюваність аустенітної сталі типу X18H10T можна поліпшити, піддавши її відпалу за температури 700...750 °С. Таке термічне оброблення сприяє виділенню карбідів, унаслідок чого стружка стає більш крихкою і легше видаляється; при цьому зменшується зношування інструменту. Однак такі деталі набувають схильності до міжкристалітної корозії, а їх загальна корозія стає інтенсивнішою. Для відновлення кондиційних властивостей напівфабрикати з не-

іржавкої сталі потрібно знову загартувати за температури понад 1050...1080 °С з охолодженням у воді.

Таблиця 6.1. Режими різання для свердлення сплаву 06Х28МДТ

Діаметр свердла, мм	Подача s , мм/об	Швидкість різання v , м/хв	Частота обертання, об/хв	Осьове зусилля, Н	Крутний момент, Н·м
6	0,1	11,4	600	1120	9,2
	0,15	9,5	560	1440	11,6
10	0,15	12,1	386	2660	20,4
	0,20	10,7	342	3150	23,7
15	0,15	13,6	240	4320	31,4
	0,20	11,9	254	5150	34,4
20	0,15	15,4	226	5450	46,
	0,20	13,5	198	7160	50,0
	0,25	12,2	180	8200	57,0
	0,15	16,8	191	7700	54,7
	0,20	14,7	188	9100	64,3
25	0,25	13,3	170	10,40	72,0

Під час різання листового прокату ножицями потрібно вживати заходів, які запобігають утворенню забоїн на лицьовому боці металу здебільшого під час укладання на стіл ножиць і просування вздовж ножів. Для цього рекомендовано застосовувати кульові опори. У момент різання на поверхні різі можливе налипання металу від різальних ножів, що спричинює появу іржі, але це не позначається на корозійній стійкості неіржавкої сталі.

Під час гнуття, наприклад труб, виникають розтягувальні напруження. Від їх дії в деяких середовищах спостерігається корозійне розтріскування. Небезпека корозійного розтріскування полягає в тому, що без помітних видимих змін у процесі експлуатації метал може раптово зруйнуватись – майже миттєво.

Штампкування. Аустенітні сталі в загартованому стані, що мають максимальну ударну в'язкість, добре штампуються, але водночас піддаються наклепу.

Виконуючи штампування, потрібно уникати застосування свинцевих штампів. Під час термічного оброблення або роботи деталей за високих температур, якщо залишки свинцю та інших легкоплавких металів від інструменту не видалені, неіржавкі сталі втрачають опірність МКК.

Після штампування сталь 12Х18Н10Т кородує набагато інтенсивніше, ніж у стані постачання. Так, наприклад, у киплячій 40 %-й азотній кислоті в стані постачання швидкість корозії становить 0,0604 г/(м²·год), а після першого штампування 0,0654 і 0,0688 г/(м²·год) – після другого. Ця ж сталь у 98 %-й киплячій азотній кислоті в стані постачання кородує зі швидкістю 5,82 г/(м²·год), після першого штампування 5,98 г/(м²·год) і 6,26 г/(м²·год) –

після другого. Аналогічну закономірність встановлено для сталі 10X17H13M2T в оцтовій кислоті, причому швидкість корозії в цьому випадку значно менша, ніж $0,1 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

Під час дослідження впливу деформації на корозійну стійкість сталі 12X18H10T виявлено, що збільшення швидкості корозії деформованої сталі в киплячій сірчаній кислоті пояснюється утворенням α -фази, яка має знижену корозійну стійкість і схильність до підвищення гетерогенності системи. При цьому полегшується анодний процес іонізації металу внаслідок підвищення енергії ґратки та катодного процесу деполяризації через зменшення роботи виходу електрона.

Слід зазначити, що деформування обтискуванням перед термічним відпуском підвищує стійкість сталі 12X18H10T до МКК.

7. ВИПЛАВКА ТА КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ НЕІРЖАВКИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

Для зменшення концентрації вуглецю та азоту, зниження вмісту шкідливих домішок (передусім сірки та фосфору), мінімізації фізичної та хімічної неоднорідності поряд з традиційною виплавною у відкритій індукційній печі (ОИ) застосовують рафінувальні технології виплавки неіржавких сталей: а) у вакуумній індукційній печі (ВИ), б) у відкритій індукційній печі з наступним електрошлаковим переплавом (ОИ + ЭШ), в) у відкритій індукційній печі з наступним вакуумно-дуговим переплавом (ОИ + ВД), г) у відкритій індукційній печі з наступним плазово-дуговим переплавом (ПД). Спосіб виплавки сталей і сплавів впливає на швидкість їх хімічного руйнування.

Листові зразки сплаву ХН35ВТЮ ($C \leq 0,08 \%$, $Si \geq 0,6 \%$, $Mn \geq 0,6 \%$, $Ni 33...37 \%$, $Cr 14...16 \%$, $Ti 2,4...3,2 \%$, $Al 0,7...1,4 \%$), виплавленого різними способами, досліджені в деяких кислотах і лугах за температур 20, 50 і 80 °С. Результати досліджень (табл. 7.1) показали, що в 57 %-й азотній кислоті за кімнатної температури незалежно від способу виплавки сплав був корозійностійким. За температури 50 °С сплав ОИ стає нестійким (швидкість корозії $\nu_{кор}=0,8670$ г/(м²·год), а сплав, виплавлений у інші способи, залишається корозійностійким.

Таблиця 7.1. Уплив різних методів виплавки на корозійну стійкість сплаву ХН35ВТЮ

Температура, °С	Швидкість корозії, г/(м ² ·год) після виплавлення			
	ОИ	ВИ	ОИ + ЭШП	ОИ + ВДП
57 %-ва HNO ₃				
20	0,0134	0,0066	0,0042	0,0039
50	0,0867	0,0699	0,0487	0,0519
80	14,0935	5,7926	4,6721	2,3600
60 %-ва H ₂ SO ₄				
20	2,9600	1,3450	1,2030	1,5610
50	8,0184	5,5543	--	6,4638
80	43,6210	29,3394	14,2240	29,9730
5 %-ва HCl				
20	2,9600	2,5805	1,200	--
50	6,2170	3,9716	2,2519	3,930
80	41,3212	19,2584	25,1919	21,6620
20 %-ва HCl				
20	6,2170	2,5805	0,8818	0,6840
50	35,4155	3,9716	33,1679	42,8830
80	Зразки розчинились			

Температура, °C	Швидкість корозії, г/(м ² ·год) після виплавлення методом			
	ОИ	ВИ	ОИ + ЭШП	ОИ + ВДП
75 %-ва Н ₃ РО ₄				
20	0,0111	0,0050	0,0045	0,0079
50	0,0600	0,0560	—	0,0335
80	2,1558	1,5105	1,730	1,4700
60 %-ва НСООН (мурашина кислота)				
20	0,2300	0,0532	0,0475	0,0500
50	1,2302	0,2460	—	0,2037
80	5,6883	4,8304	3,4850	3,7440
8 %-й NaOH				
20	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
50	0,0012	0,0007	0,0000	0,0000
80	0,0032	0,0016	0,0030	0,0009

Підвищення температури випробувань збільшує швидкість корозії. Як впливає із табл. 9, сплав у 57 %-й азотній кислоті незалежно від технології виплавлення стає нестійким за температури 80 °C, а максимальна швидкість корозії – у сплаві, який виплавлено за методом ОИ. Аналогічна картина спостерігається і в інших кислотах.

Високу корозійну стійкість сплаву в їдкому натрі зумовлено великим умістом у сплаві нікелю – металу, стійкого в лужних середовищах.

Наведені результати випробувань сплаву ХН35ВТЮ добре корелюють з випробуваннями інших неіржавких сталей і сплавів і підтверджують високу ефективність застосування рафінувальних технологій порівняно з технологією виплавки за методом ОИ.

8. ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ НЕІРЖАВКИХ СТАЛЕЙ ОЗДОБЛЮВАЛЬНИМ ОБРОБЛЕННЯМ ПОВЕРХОНЬ ЗАГОТОВАНOK І ДЕТАЛЕЙ

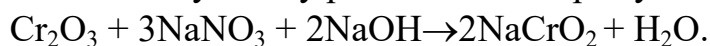
Окалина, забруднення, підвищена шорсткість поверхонь деталей і заготовок різко знижують корозійну стійкість металу. Тому з поверхонь необхідно повністю видалити навіть сліди окалини та найдрібніші частинки заліза і звести до мінімуму (0,8...0,4 мкм за параметром R_a) шорсткість поверхонь. Для цього застосовують хімічні, електрохімічні й механічні способи оброблення.

До хімічних та електрохімічних способів належать травлення, пасивування, електрохімічне полірування.

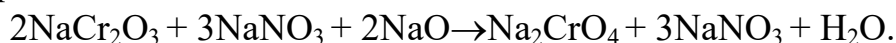
Аустенітні хромонікелеві сталі шліфуються та поліруються гірше, ніж хромові та хромонікелеві двофазові сталі. Тому під час оброблення поверхонь аустенітних сталей переважно застосовують хімічні та електрохімічні способи.

Травлення та пасивування. Процес складається із таких операцій: оброблення в лужному розплаві, промивання в холодній проточній воді, травлення в розчині кислоти, промивання, протирання, сушіння.

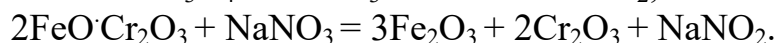
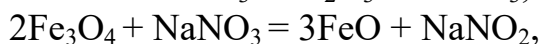
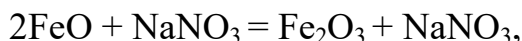
Під час оброблення в лужному розплаві окис хрому взаємодіє з лугом:



Хроміт натрію в разі окиснення селітрою переходить у легкорозчинний хромат натрію:



Оксиди заліза FeO , Fe_2O_3 і хроміт заліза, що входять до складу окалини, окиснюються селітрою:



Ці реакції змінюють структури окалини, внаслідок чого вона легко руйнується.

Лужний розплав складається з 60...70 % їдкого натрію, 25...35 % натрієвої селітри та 5 % кухонної солі. Метал витримують у розплаві до 25 хв за температури 450...500 °C

Деталі перед завантаженням у розплав ретельно просушують. У процесі хімічного оброблення металу в розплаві окалина частково відшаровується та у вигляді шламу осідає на дно ванни.

Після оброблення в розплаві деталь промивають проточною водою, а окалину, що залишилась, травлять у водному 10...18 %-му розчині сірчаної кислоти ($\rho = 1840 \text{ кг/м}^3$) з додаванням 3...8 % кухонної солі або у водному роз-

чині 20 % сірчаної кислоти, 1,5 % азотнокислого натрію та 2,5 % кухонної солі. Тривалість травлення – 3...5 хв за температури розчину 70...80 °С. Під час травлення хромистих неіржавких сталей типу Х13, Х17, Х25, Х27 температура розчину – у межах 50...60 °С.

Двофазові сталі, подібні до 08Х22Н6Т, доцільно очищувати від окалини механічним способом, оскільки в процесі хімічного оброблення феритна фаза витравлюється, і поверхня металу стає шорсткою та потребує додаткового шліфування і полірування.

Двофазові сталі типу ЭИ811 необхідно травити у водному розчині 18 %-ї соляної кислоти за температури 60...700 °С протягом 3...10 хв. Для уникнення появи рихлої плівки, яка може відшаровуватись після травлення в соляній кислоті сталей типу ЭП53, ЭП54, у травильний розчин вводять інгібітор ПБ8/2. Двофазові сталі також можна травити у водному сірчаноокислому розчині складу: 18 % H_2SO_4 , 3 % NaCl та 0,015 % ЧМ (травильна присадка) за температури розчину 80 °С протягом 5...10 хв.

Після травлення сталі піддають пасивуванню в 3...5 %-му розчині азотної кислоти за температури 40...50 °С протягом 3...5 хв. Для пасивування хромистих сталей застосовують такий самий розчин з додаванням до нього 1...2 % біхромату натрію.

Для уникнення почорніння поверхні металу пасивувальний розчин потрібно складати на чистій воді без хлоридів. Промивні води та лужний розчин теж мають бути з мінімальним вмістом хлоридів.

Унаслідок пасивування поверхні напівфабрикатів і деталей стають сріблястоматовими та чистими, що забезпечує підвищену корозійну стійкість металу.

Для полегшення кислотного травлення заготовки перед термічним обробленням потрібно занурювати в насичений розчин кухонної солі. Під час термічного оброблення NaCl вступає у взаємодію з оксидами металу і окалина, охолоджуючись, за легких постукувань вільно обсипається.

Щоб отримати блискучу глянцева поверхню металу, застосовують травильну суміш кислот, % (за об'ємом): соляна кислота – 20, азотна кислота – 5, фосфорна кислота – 5, вода – 70.

Видаляти окалину після термічного оброблення неіржавких хромонікелевих сталей можна хімічним травленням у водному розчині 4 %-ї азотної кислоти ($\rho = 1350 \text{ кг/м}^3$) і 36 %-ї соляної кислоти ($\rho = 1190 \text{ кг/м}^3$). Температура розчину становить 35...50 °С, тривалість травлення – 3...6 хв.

Травлення пастами застосовують для листового двошарового прокату, наприклад, неіржавка сталь 12Х18Н10Т з основою зі сталі Ст3.

Для приготування травильної пасти до одного літра води додають 200...250 г H_2SO_4 , 150...175 г NaCl і 15...20 г NaNO_3 . У розчин вводять подрібнену вогнестійку глину до утворення сметаноподібної консистенції і приго-

товлену масу щіткою наносять на неіржавку поверхню двошарового листа та витримують протягом доби. Потім пасту змивають водою і метал травлять за режимом для вуглецевої сталі протягом 10...15 хв, промивають, пасивують і сушать.

Одночасного травлення та забарвлення в темний колір поверхні неіржавкої сталі досягають у розчині, який містить 250 мл концентрованої H_2SO_4 , 75 мл води, 50 г нітрату вісмуту та 50 г телуристної кислоти. Для цих же цілей можна використати суміш, яка складається із концентрованого розчину 800 мл FeCl_3 і 20 мл концентрованої HCl .

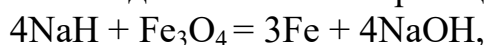
Хімічне таврування із сталей типу X18H10T здійснюють розчином такого складу: азотна кислота густиною 1400 кг/м^3 – 40 мл, соляна кислота густиною 1190 кг/м^3 – 40 мл, селен металевий – 4 г, оксид міді – 4 г, вода – 100 мл.

Тавро наносять гумовим штампом, змочуючи його об подушечку із листового азбесту або пористої гуми. Розчин потрібно зберігати в скляній банці з притертим корком.

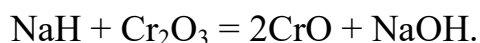
Гідриднатрієвий метод травлення. Застосовують для видалення окалини з поверхонь деталей і напівфабрикатів із неіржавких сталей різних марок і сплавів з умістом титану, нікелю та інших металів, нерозчинних у лугах.

Деталі, оброблюють у розплавленому лузі з додаванням 2 % гідриду натрію (NaN).

Оксиди заліза повністю відновлюються за реакцією



а оксиди хрому відновлюються частково:



Перед завантаженням металу в розплав його заздалегідь прогрівають у печах за температури 300°C . Тривалість витримування металу в розплаві залежно від стану окалини становить 5...20 хв, температура розплаву – $350...380^\circ\text{C}$.

Відновлена рихла окалина змивається струменем проточної води.

Для отримання блискучої поверхні сталі деталі після гідриднатрієвого оброблення додатково травлять 2...5 хв у 5...10 %-му розчині сірчаної кислоти. Деталі з неіржавкої сталі після травлення додатково пасивують протягом 1 хв у 5...10 %-му розчині азотної кислоти за температури $60...70^\circ\text{C}$, деталі зі сплавів титану піддають травленню в суміші азотної та плавикової кислот.

Просвітлення сталей типу X18H10T для очищення поверхонь від кольорів мінливості, оксидів і не видаленого травильного шламу можна здійснювати у 30 %-му перекису водню та 75 мл/л азотної кислоти ($\rho = 1320 \text{ кг/м}^3$) за температури $20...60^\circ\text{C}$. Швидкість видалення травильного шламу різко зростає з підвищенням температури розчинів. Просвітлення сталей типу 10X17H13M2T для видалення оксидів після зварювання конструкції (оксиди, які залишаються на металі, зумовлюють забарвлення розчинів роданистого

натрію, що є неприпустимим, наприклад, у виробництві волокна нітрон) рекомендується виконувати пастою такого складу: 200 г/л H_2SO_4 , 20 % NaCl і 400 г/л азбесту.

Електролітичне травлення. Цей спосіб передбачає проведення травлення в електролітичних ваннах. Катодами є оброблювані деталі із неіржавких сталей. Катодна густина струму становить $3 \dots 4 \text{ А/дм}^2$. Як аноди застосовують пластини з кременистого чавуну. Електроліт складається з $5 \dots 10$ %-го розчину азотної кислоти у воді. Тривалість процесу – 10 хв за кімнатної температури.

Деталі з різьбою, а також деталі, які після термічного оброблення неприпустимо механічно зачищувати та шліфувати, травлять на аноді в розчині такого складу: 100 мл сірчаної кислоти ($\rho = 1840 \text{ кг/м}^3$), 800 мл фосфорної кислоти ($\rho = 1540 \text{ кг/м}^3$), 100 г хромового ангідриду, 100 мл води. Температура розчину $70 \dots 75^\circ\text{C}$, густина струму на аноді $70 \dots 75 \text{ А/дм}^2$, тривалість травлення $5 \dots 10$ хв (катоди – свинцеві пластини)

Оксиди, що утворюються на поверхні сталі в процесі зварювання і травильний шлам можна видаляти в $15 \dots 20$ %-му перекису водню. Тривалість процесу становить $5 \dots 10$ хв за кімнатної температури. Окрім травильних властивостей, перекис водню добре діє як пасивувальний окисник.

Для видалення іржавих плям, що утворюються на виробках за час зберігання, можна застосовувати 10 %-й розчин лимоннокислого натрію.

Хімічне полірування. Для хімічного полірування аустенітних сталей застосовують розчин такого складу: 4 об'єми соляної кислоти, 1 об'єм азотної кислоти, 0,5 об'єму сірчаної кислоти, 5 г/л оцтової кислоти; температура розчину – $80 \dots 150^\circ\text{C}$.

Хімічне полірування хромистих і хромонікелевих неіржавких сталей, а також вуглецевих сталей провадять у розчині фосфорної кислоти, який повільно нагрівають до 250°C , при цьому фосфорна кислота частково переходить у пірофосфору. Реакція триває 1,5 год (її завершення визначають за припиненням виділення бульбашок газу). Потім кислоту швидко охолоджують і додають близько 10 % сірчаної кислоти. Чим більший уміст вуглецю в сталі, тим менше додають кислоти. Полірування здійснюють за температури 20°C протягом $1 \dots 10$ хв.

Для хімічного полірування пружин із сталі 12Х18Н10Т рекомендовано розчин складу: азотна кислота ($\rho = 1400 \text{ кг/м}^3$) – 40 мл, соляна кислота ($\rho = 1190 \text{ кг/м}^3$) – 70 мл, сірчана кислота ($\rho = 1840 \text{ кг/м}^3$) – 230 мл, клей столярний – 10 г/л, хлористий натрій – 5 г/л, барвник кислотний чорний – 10 г/л.

Електролітичне полірування. Сутність цього способу полягає в анодному обробленні поверхні металу в спеціальних електролітах. Поверхня металу згладжується в результаті розчинення виступів. Під час електролітичного полірування видаляються лише дрібні шорсткості (другого порядку). Тому

вироби після оброблення різцем з наявною шорсткістю першого порядку необхідно піддавати остаточному механічному обробленню та мати шорсткість порядку 0,4...0,8 мкм за параметром R_a .

Електролітичне полірування може здійснюватись у розчині з 45 % фосфорної кислоти, 40 % сірчаної кислоти, 5 % хромового ангідриду та 10 % води. Температура розчину становить 50...70 °С, густина струму – 30...60 А/дм², тривалість полірування – 10...15 хв.

Інший рецепт: 20 % сірчаної кислоти, 55 % лимонної кислоти, 25 % води, температура розчину становить 80...85 °С, густина струму – 10...25 А/дм², тривалість процесу – 5...10 хв (катод – мідні пластини).

Після пасивування, електролітичного або хімічного полірування необхідно нейтралізувати залишки кислот на поверхнях у 1...3 %-му розчині кальцинованої соди з наступним промиванням і сушінням.

Електролітичне та хімічне полірування надають поверхні, яка незатемнена залишками полірувальних речовин, високої відбивної здатності. Такому поліруванню піддають попередньо добре відшліфовану поверхню. Разом з тим електролітичне та хімічне полірування мають суттєвий недолік: місця, попередньо піддані пластичній деформації, набувають шорсткості, а зварні шви, невидимі в разі механічного полірування, різко виявляються.

Крацювання. Процес застосовують для руйнування та видалення розрихленого шару окалини та шламу з поверхні виробів складної конфігурації. Операцію крацювання виконують на крацювальних верстатах круглим щітками із тонкого пружного неіржавкого сталевого дроту діаметром 0,1...0,4 мм. Швидкість обертання щіток – 750...1000 об/хв. Поверхню виробів під час крацювання змочують 3...5 %-м водним розчином кальцинованої соди або полірувальним вапном.

Галтування. Цю технологічну операцію виконують перед шліфуванням для видалення з поверхонь металу будь-яких забруднень, травильного шламу, грубих нерівностей і задирок.

Заготованки та деталі обкочують разом зі шліфувальними матеріалами в барабанах або дзвонах, які обертаються з частотою 30...60 об/хв.

Розрізняють галтування мокре та сухе. За мокрого галтування метал оброблюють абразивними матеріалами, до яких додають 2...3 %-й розчин соди, а за сухого – сухими абразивними матеріалами.

Гідрочищення. До гідрочищення належать гідрошліфування та гідрополірування. Деталі шліфуються і поліруються в перфорованих барабанах і не потребують подальшого оброблення повстяними кругами. Гідрочищенням досягають шорсткості поверхонь близько 0,8 мкм за параметром R_a .

Рідинному шліфуванню та поліруванню піддають дрібні деталі (масою до 500 г) після штампування, лиття, механічного оброблення за шорсткості 3,3...6,3 мкм за параметром R_a .

Сутність методу гідроочищення полягає в обробленні деталей абразивними матеріалами в шестигранному барабані, який занурюють у ванну з робочою рідиною. Барабан має велику кількість отворів діаметром 3...5 мм і обертається зі швидкістю 20...25 об/хв. Не допускається одночасно обробляти неіржавкі сталі разом з вуглецевими.

Робоча рідина: кип'ячена вода, нейтральне мило 0,1...0,2 % і кальцинована сода 0,1...0,2 %; температура робочої рідини – 25...45 °С. Як абразивний матеріал для шліфування використовують биті шліфувальні круги зернистістю 150...180. Масові співвідношення абразивного матеріалу до деталей, як 2:1. Під час полірування застосовують бити порцеляну, додаючи неіржавкі кульки при тому ж самому співвідношенні мас полірувальних матеріалів і деталей.

Механічне шліфування. Процес є підготовчим до полірування поверхонь. Під час шліфування гострорізальні грані зерен абразиву зрізують великі нерівності на поверхні деталі, але після цього залишаються ризики. Шліфування виконують повстяними або фетровими кругами із закріпленим на них за допомогою клею абразивним порошком.

Деталі з неіржавких сталей безпосередньо перед шліфуванням (так само і перед механічним поліруванням) потрібно декапіювати у 5...8 %-му розчині азотної кислоти для видалення усіх слідів, залишених металевими інструментами на попередніх механічних операціях.

Шліфувати неіржавкі сталі потрібно кругами з нанесеним абразивним порошком, заздалегідь просаленим жирowymi речовинами. Добираючи режими різання, необхідно брати до уваги склад, структуру та фізико-хімічні властивості неіржавких сталей.

Аустенітні сталі потрібно шліфувати з тиском круга на шліфовану поверхню 3,0...7,5 МПа, більший тиск погіршує чистоту оброблення. Під час шліфування хромистих (мартенситних) сталей тиск круга на поверхню не впливає на її чистоту і може бути підвищеним до 25 МПа.

Гарячекатаний метал поетапно шліфують кругами з переходами абразивів № 60... 80, № 100...120, № 150...200. З абразивних матеріалів під час шліфування найчастіше використовують електрокорунд, який містить 99 % Al_2O_3 .

Полірування усуває нерівності, які залишились після шліфування, і поверхня набуває дзеркального блиску. Поліруючи холоднокатаний лист, оброблення здійснюють з двома переходами: абразиву № 200 і абразиву № 300.

Для полірування неіржавких сталей застосовують вапнякові, алюмінієві та хромові пасти. Найкращими із хромистих паст є пасти ГОИ (від рос. «Государственный оптический институт»), які складаються з оксиду хрому. Вони бувають грубі, середні та тонкі.

При шліфуванні та поліруванні неіржавких сталей такі матеріали, як наждак з умістом оксиду заліза до 35 %, карборунд з домішками графіту, кро-

кус і залізний сурик застосовувати неможна. Через оксиди заліза в пасти потрапляє іржа, а графіт науглецьовує поверхню деталі, що може спровокувати МКК.

Знежирювання та пасивування. Після остаточного механічного оброблення для корозійної стійкості деталей їх потрібно знежирювати та пасивувати і ретельно промивати гарячою водою.

Знежирювання (видалення жирових забруднень) здійснюють за температури 80...90 °С в одному з таких розчинів, г/л:

а) Na_2CO_3 або K_2CO_3 – 30...50, NaOH або KOH – 10...20, рідке скло або мило – 2...3;

б) Na_2CO_3 або K_2CO_3 – 15...25, Na_2PO_3 – 15...25, NaOH – 5...10, рідке скло або мило – 2...3.

Пасивування – утворення надтонкої оксидної плівки на поверхні металу. Пасивування виконують обробленням металу в 5 %-й азотній кислоті за температури розчину 50...60 °С протягом 5 хв.

Покриви. На деталі з неіржавких сталей можна наносити мідні та нікелеві покриви.

Обміднують деталі в електроліті такого складу, г/л: сірчаноокислої міді – 200, сірчаної кислоти – 50, фтористого натрію – 5...7; густина струму – 5...7 А/дм².

Нікелюють деталі у звичайних електролітах. Перед нанесенням нікелю потрібне попереднє електрохімічне оброблення поверхні неіржавких сталей у розчині хлористого нікелю 250 г/л і соляної кислоти 8 % (за об'ємом). Температура розчину становить 18...23 °С, густина струму – 3,2 А/ дм², аноди – нікелеві пластини.

9. ЗАСТОСУВАННЯ КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ, ЖАРОСТІЙКИХ, ЖАРОМІЦНИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ ЗГІДНО З ГОСТ 5632–72

Номери марок сталей і сплавів, що наведені у цьому розділі, подано відповідно до класифікатора ГОСТ 5632–72 (див. табл. 2.1).

9.1. Призначення корозійностійких сталей і сплавів першої групи

1. **№ 1-12, 20X13; № 3-2, 08X13; № 2-4, 12X13.** Деталі із підвищеною пластичністю, що піддаються ударним навантаженням (клапани гідравлічних пресів, предмети домашнього вжитку), а також вироби, що піддаються дії слабоагресивних середовищ (атмосферні осаді, водні розчини солей органічних кислот за кімнатної температури). Мають найбільшу зносостійкість після термічного оброблення (загартування з наступним відпуском). Сталь 08X13 може застосовуватись також після відпалу.

2. **№ 1-17, 25X13.** Призначення те саме, що і за п.1, має кращу оброблюваність різанням.

3. **№ 1-13, 30X13; № 1-14, 40X13.** Різальний, вимірювальний і хірургічний інструмент, пружини, карбюраторні голки, предмети домашнього вжитку, клапанні пластини компресорів. Сталь Застосовують після загартування та нормалізувального відпуску зі шліфованою поверхнею, має підвищену твердість.

4. **№ 2-5, 14X17H2.** Застосовують як сталь з досить задовільними технологічними властивостями в хімічній, авіаційній та інших галузях промисловості. Найвищу корозійну стійкість має після загартування з високим відпуском.

5. **№ 1-19, 95X18.** Шарикопідшипники високої твердості для нафтовидобувного устаткування, ножі найвищої якості, втулки та інші деталі, що піддаються інтенсивному зношуванню.

6. **№ 3-3, 12X17.** Предмети домашнього вжитку та кухонного начиння, устаткування заводів харчової та легкої промисловості. Сталь для виготовлення зварних конструкцій не рекомендується. Застосовують у відпаленому стані.

7. **№ 3-4, 08X17T.** Рекомендується як замітник сталі марок 12X18H9T, 12X18H10T для конструкцій, які не піддаються дії ударних навантажень та експлуатуються за температури, не нижчої за мінус 20 °С. Застосовують для тих же цілей, що і сталь марки 12X17, у тому числі і для зварних конструкцій.

8. **№ 3-6, 15X25T.** Рекомендується як замітник сталі марки 12X18H10T для зварних конструкцій, на які не діють ударні навантаження за температури, нижчої за мінус 20 °С, а також для роботи в більш агресивних середовищах, для яких рекомендована сталь марки 08X17T. Труби для теплообмінної апаратури, що експлуатується в контакті з агресивними середовищами.

9. **№ 3-7, 15X28.** Те саме, що в п.8, а також для спаїв зі склом. Зварні шви схильні до МКК.

10. **№ 4-1, 20X13H4Г9.** Замінник холоднокатаної сталі марок типу 17X18H9 для міцних і легких конструкцій, з'єднаних точковим електрозварюванням. Добре опирається атмосферній корозії. Зварні шви, виконані іншими методами, піддаються МКК.

11. **№ 6-7, 10X14АГ15; № 6-5, 10X14НЗ.** Те саме, що в п.10, а також для предметів домашнього вжитку та пральних машин.

12. **№ 4-2, 09X15H8Ю.** Рекомендується як високоміцна сталь для виробів, що експлуатуються в атмосферних умовах, оцтовокислих і сольових середовищах, для пружних елементів.

13. **№ 4-3, 08X16H6.** Те саме, що в п. 12. Сталь не має дельта-фериту.

14. **№ 4-2, 08X17H5МЗТ.** Те саме, що і для сталі 09X15H8Ю (п. 12), а також для сірчаноокислих середовищ.

15. **№ 5-7, 08X18Г8Н2Т.** Рекомендується як заміник сталей марок 12X18H10Т, 08X18H10Т для виготовлення зварної апаратури, що експлуатується в агресивних середовищах хімічної та харчової галузей. Має більшу міцність, ніж сталі 08X18H10Т, 12X18H10Т.

16. **№ 1-18, 20X17H2.** Рекомендується як високоміцна сталь для високонавантажених деталей, що працюють на стирання та удар у слабоагресивних середовищах. Має високу твердість (понад HRC45).

17. **№ 5-3, 08X22H6Т.** Рекомендується як заміник сталі марок 08X18H10Т, 12X18H10Т для виготовлення зварної апаратури в хімічній, харчовій галузях. Температура роботи не вища за 300 °С. Має більш високу міцність, ніж сталі 08X18H10Т, 12X18H10Т.

18. **№ 5-4, 12X21H5Т.** Застосовують для зварних і паяних конструкцій, призначених для роботи в агресивних середовищах. Сталь має більшу міцність, ніж сталь 08X22H6Т і кращу здатність до паяння, ніж сталь 08X18 Н10Т.

19. **№ 5-5, 08X12H6М2Т.** Рекомендується як заміник сталі марки 10X17H13М2Т для виготовлення деталей і зварних конструкцій, що експлуатуються в середовищах підвищеної агресивності: оцтовокислих, сірчаноокислих і фосфорнокислих.

20. **№ 6-6, 10X14Г14Н4Т.** Рекомендується як заміник сталі марки 12X18H10Т для виготовлення устаткування, що експлуатується в середовищах слабкої агресивності, а також за температур до мінус 190 °С. Має задовільну опірність МКК.

21. **№ 6-19, 12X17Г9АН4.** Для виробів, що експлуатуються в атмосферних умовах. Рекомендується як заміник сталей марок 12X18H9, 12X18H10Т.

22. **№ 6-18, 15X17АГ14.** Рекомендується як заміник сталі марки 12X18H9 для виробів, що експлуатуються в середовищах слабкої агресивності. Добре опирається атмосферній корозії.

23. **№ 6-22, 10X17H13M2T.** Рекомендується для виготовлення зварних конструкцій, що експлуатуються в контактi з киплячою фосфорною кислотою, із сірчаною та 10 %-ю оцтовою кислотами, із сірчаноокислими речовинами.

24. **№ 6-24, 08X17H15M3T.** Застосовують для тих же цілей, що і сталь 10X17H13M2T. Майже не містить феритної фази. Має більш високу стійкість до МКК.

25. **№ 6-20, 03X17H4M3.** Застосовують для тих же цілей, що і сталі марок 08X17H15M3T, 10X17H13M2T.

26. **№ 6-15, 03X16H15M3T; № 6-15, 03X16H15M3Б.** Застосовують для тих же цілей, що і сталь марок 08X18H15M3T, 10X17H13M2T. Мають вищу стійкість проти точкової корозії, ніж сталь 03X17H13M2.

27. **№ 5-8, 15X18H12C4TЮ.** Рекомендується для зварних виробів, що експлуатуються в повітряному та агресивних середовищах, зокрема в контактi з азотною кислотою. Не схильна до тріщиноутворення та корозії під напруженням.

28. **№ 6-1, 08X10H20T2.** Рекомендується як немагнітна сталь для виробництва великогабаритних деталей, що експлуатуються в морській воді.

29. **№ 6-28, 04X18H20T2.** Застосовують для тих же цілей, що і сталь марки 08X18H10T і для роботи в азотній кислоті, азотнокислих середовищах за підвищених температур. Має вищу стійкість до МКК.

30. **№ 6-33, 03X18H11.** Те саме, що і в п. 29. Має підвищену стійкість проти ножової корозії порівняно зі сталлю 12X18H12Б.

31. **№ 6-35, 03X18H12.** Те саме, що і в п. 30, Застосовують також в електронній промисловості. Майже не містить феритної фази.

32. **№ 6-25, 12X18H9; № 6-29, 08X18H10.** Застосовуються у вигляді холоднокатаного листа та стрічки підвищеної міцності для будь-яких деталей конструкцій, що зварюються точковим зварюванням, а також для виробів, що піддаються термічному обробленню (загартуванню). Зварні з'єднання, виконані іншими методами, окрім точкового зварювання, схильні до МКК.

33. **№ 6-26, 17X18H9.** Застосовують для тих же цілей, що і сталь 12X18H9. Має вищу міцність, ніж сталь марки 12X18H9.

34. **№ 6-32, 12X18H10Е.** Те саме, що в п.33. Сталь має кращу оброблюваність на металорізальних верстатах.

35. **№ 6-30, 08X18H10T.** Рекомендується для виготовлення зварних виробів, що експлуатуються в середовищах більш високої агресивності, ніж сталі 12X18H10T, 12X18H12T. Сталь має підвищену опірність МКК порівняно зі сталями 12X18H10T, 12X18H12T.

36. **№ 6-27, 12X18H9T; № 6-31, 12X18H10T.** Застосовуються для виготовлення зварної апаратури для різних галузей промисловості. Сталь марки 12X18H9T рекомендується застосовувати у вигляді сортового металу та гарячекатаного листа.

37. **№ 6-34, 06X18H11.** Застосовують для тих же цілей, що і сталь марки 08X18H10, якщо існують жорсткі обмеження вмісту феритної фази. Уміст феритної фази нижчий, ніж у сталі марки 08X18H10.

38. **№ 6-36, 08X18H12T.** Те саме, що і в п. 37. Сталь майже не містить феритної фази і має більшу опірність МКК.

39. **№ 6-37, 12X18H12T.** Застосовують для тих же цілей, що і сталь 08X18H10, якщо існують жорсткі обмеження вмісту феритної фази. Сталь містить меншу кількість феритної фази, ніж сталь 12X18H10T.

40. **№ 6-38, 08X18H12B.** Застосовують для тих же цілей, що і сталь 12X18H12T. Має підвищену стійкість проти точкової корозії і вищу стійкість в азотній кислоті, ніж сталь 12X18H10T.

41. **№ 7-6, 06XH28MDT.** Рекомендується для зварних конструкцій, що експлуатуються за температур до 80 °С у сірчаній кислоті різних концентрацій, у кислих і сірчаноокислих середовищах. Неприпустимі контакти з 55 %-ю оцтовою та фосфорною кислотами.

42. **№ 7-7, 03XH28MDT.** Те саме, що і в п. 41. Має підвищену стійкість проти міжкристалітної і, зокрема, ножової корозії.

43. **№ 1-20, 09X16H4B.** Застосовують для виготовлення високоміцних штампозварних конструкцій, що контактують з агресивними середовищами. Найвищу корозійну стійкість має після загартування з низьким відпуском (до 400 °С).

44. **№ 6-21, 08X17H13M2T.** Застосовують для тих же цілей, що і сталь 10X17H13M2T. Має вищу стійкість проти загальної та МКК, ніж сталь 10X17H13M2T.

45. **№ 4-4, 09X17HЮ.** Застосовують для крил, рулів, кронштейнів суден, що експлуатуються в морській воді. Найбільшу корозійну стійкість має після двократного першого відпуску (740...760 °С).

46. **№ 4-5, 09X17H7Ю1.** Застосовують для валів суден, що експлуатуються в морській воді.

47. **№ 6-42, 07X21Г7АН5.** Застосовують для зварних виробів, що експлуатуються за криогенних температур до мінус 253 °С.

48. **№ 6-43, 03XX21H21M4ГБ.** Рекомендується для виготовлення зварних конструкцій і вузлів, що експлуатуються в контакті з гарячою фосфорною кислотою з домішками фтористих і сірчистих сполук: сірчаної кислоти низьких концентрацій за температури до 80 °С, азотної кислоти за температури до 95 °С.

49. **№ 8-2, ХН65МВ.** Застосовують для виготовлення зварних конструкцій, що експлуатуються за підвищених температур у сірчаноокислих і соляноокислих середовищах, які мають окиснювальний характер, у концентрованій оцтовій кислоті та інших дуже агресивних середовищах.

50. **№ 8-1, Н70М8.** Застосовують для виготовлення зварних конструкцій, що експлуатуються за високих температур у соляній, сірчаній, фосфорній та інших середовищах відновного характеру. Сплав досить стійкий до МКК в агресивних середовищах.

51. **№ 3-8, 08Х18Т1.** Те саме, що і для сталей 12Х17, 08Х17Т переважно для деталей, що штамнуються. Застосовують як заміник сталей 12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т.

52. **№ 7-8, 06ХН28МТ.** Рекомендується для виготовлення зварних конструкцій і вузлів, що експлуатуються в середовищах, менш агресивних, ніж для сталі 06ХН28МДТ, зокрема, в сірчаній кислоті концентрацією до 20 % за температури, не вищій за 60 °С, а також під час контакту з гарячою фосфорною кислотою. Має задовільну стійкість до МКК.

9.2. Призначення жаростійких сталей і сплавів другої групи

Далі прийняті такі умовні позначення: t_{\max} – рекомендована максимальна температура застосування протягом тривалого часу (до 1000 год); $t_{\text{ок}}$ – температура початку інтенсивного окалиноутворення в повітряному середовищі.

Після позначення марки сталі перераховуються деталі та пристрої, які можуть бути виготовлені з цієї марки.

53. **№ 1-5, 40Х9С2.** Клапани випуску автомобільних, тракторних і дизельних моторів, труби рекуператорів, теплообмінники, колосники. Стійка в середовищах із сірчаними сполуками, $t_{\text{ок}}=850$ °С.

54. **№ 1-6, 40Х9С2.** Клапани моторів, $t_{\text{ок}}=850$ °С.

55. **№ 1-15, 30Х13Н7С2.** Клапани автомобільних моторів. Стійка в середовищах із сірчаними сполуками, $t_{\text{ок}}=950$ °С.

56. **№ 2-1, 15Х6СЮ.** Деталі котельних установок, стійка в середовищах із сірчаними сполуками, $t_{\text{ок}}=800$ °С.

57. **№ 2-4, 12Х13.** Деталі турбін, труби, деталі котлів, $t_{\text{ок}}=700$ °С.

58. **№ 3-1, 10Х13СЮ.** Клапани автотракторних моторів, різні деталі. Стійка в середовищах із сірчаними сполуками, $t_{\text{ок}}=950$ °С.

60. **№ 3-5, 15Х18СЮ.** Труби піролізних установок, їх апаратура та деталі. Стійка в середовищах із сірчаними сполуками, $t_{\text{ок}}=1050$ °С.

61. **№ 3-6, 15Х25Т.** Апаратура, деталі, чохли термопар, електроди іскрових запалювальних свічок, труби піролізних установок, теплообмінники. Стійка в середовищах із сірчаними сполуками, $t_{\text{ок}}=1050$ °С.

62. **№ 3-7, 15Х28.** Апаратура, деталі, труби піролізних установок, теплообмінники, $t_{\text{ок}}=1100...1150$ °С.

63. **№ 5-1, 08Х20Н14С2.** Труби, $t_{\text{ок}}=1000...1050$ °С.

64. **№ 5-2, 20Х20Н14С2.** Пічні конвеєри, ящики для цементації. Стійка в середовищах із сірчаними сполуками, $t_{\text{ок}}=1000$ °С, $t_{\max}=1050$ °С.

65. **№ 5-6, 20X23H13.** Труби для піролізу метану, пірометричні трубки. В інтервалі 600...800 °С схильна до крихкості через утворення σ -фази; $t_{ок}=1000$ °С, $t_{max}=1050$ °С.

66. **№ 6-9, 09X14H16Б.** Труби пароперегрівачів і трубопроводи надвисокого тиску; $t_{ок}=800$ °С, $t_{max}=850$ °С.

67. **№ 6-29 08X18H10; № 6-25, 12X18H9; № 6-30, 08X18H10Т; № 6-31, 12X18H10Т; № 6-37, 12X18H25С2.** Труби, деталі пічної апаратури, теплообмінники, муфелі, реторти, патрубки та колектори вихлопних систем, електроди іскрових запалювальних систем. Нестійкі в середовищах із сірчаними сполуками. Застосовують лише тоді, коли не можуть бути застосованими безнікелеві сталі; $t_{max}=800$ °С, $t_{ок}=1050$ °С.

68. **№ 6-45, 10X23H18; № 6-46, 20X23H18.** Труби та деталі для конверсії метану, піролізу, листові деталі. В інтервалі 600...800 °С схильна до крихкості через утворення σ -фази; $t_{ок}=1000$ °С, $t_{max}=1050$ °С.

69. **№ 6-48, 12X25H16Г7АР.** Деталі газопровідних систем, що виготовляються із тонких листів, стрічки, сортового прокату. Рекомендується для заміни жаростійких сплавів на нікелевій основі; $t_{ок}=1050$ °С, $t_{max}=1100$ °С.

70. **№ 6-41, 55X20Г9АН14.** Клапани автомобільних моторів; $t_{ок}=950$ °С.

71. **№ 6-44, 45X22H4МЗ.** Те саме, що і в п. 70.

72. **№ 6-47, 20X25H20С2.** Підвіски та опори в котлах, труби електролізних та піролізних установок. В інтервалі 600...700 °С схильна до крихкості через утворення σ -фази; $t_{ок}=1050$ °С, $t_{max}=1100$ °С.

73. **№ 7-4, ХН38ВТ.** Деталі газових систем. Рекомендується для заміни жаростійкого сплаву ХН78Т; $t_{ок}=1000$ °С, $t_{ок}=1050$ °С.

74. **№ 7-5, ХН28ВМАБ.** Листові деталі турбін; $t_{ок}=1000$ °С, $t_{max}=1100$ °С.

75. **№ 8-4, ХН60Ю.** Деталі газопровідних систем; $t_{ок}=1200$ °С, $t_{max}=1250$ °С.

76. **№ 8-7, ХН75МБТЮ.** Деталі газопровідних систем, апаратури; $t_{ок}=1050$ °С, $t_{max}=1100$ °С.

77. **№ 8-6, ХН78Т.** Деталі газопровідних систем, сортові деталі, труби. Нестійкі в середовищах із сірчаними сполуками; $t_{ок}=1100$ °С, $t_{max}=1150$ °С.

78. **№ 8-3, ХН60ВТ.** Листові деталі двигунів; $t_{ок}=1000$ °С, $t_{max}=1100$ °С.

79. **№ 8-5, ХН70Ю.** Деталі газопровідних систем. Нестійкі в середовищах із сірчаними сполуками; $t_{ок}=1200$ °С, $t_{max}=1250$ °С.

9.3. Призначення жароміцних сталей і сплавів третьої групи

Під короткотривалим терміном роботи умовно беруть строк експлуатації деталей до 100 год, під обмеженим терміном роботи – 100...1000 год, під тривалим терміном роботи – 1000...10000 год (в окремих випадках – до 20000 год), під надто тривалим терміном роботи – час, значно більший за 10000 год (зазвичай 50000...100000 год). Рекомендовані робоча температура

t_p , тривалість роботи та температура початку інтенсивного окалиноутворення $t_{ок}$ подані орієнтовно.

Після позначення марки сталі або сплаву наводяться деталі та пристрої, які можуть бути виготовлені з цієї марки.

80. № 1-5, 40X9C2. Клапани моторів, кріпильні деталі. Термін роботи тривалий; $t_p=650\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=850\text{ }^{\circ}\text{C}$.

81. № 1-6, 40X10C2M; № 1-11, X11H2B2MФ; № 1-21, 13X11H2B2MФ. Клапани моторів, кріпильні деталі, диски компресора, лопатки, інші навантажені деталі. Термін роботи тривалий; $t_p=600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=750\text{ }^{\circ}\text{C}$.

82. № 1-11, 16XH2B2MФ; № 1-12, 20X13. Диски компресорів, лопатки парових турбін, клапани, болти, труби. Термін роботи дуже тривалий; $t_p=550\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=750\text{ }^{\circ}\text{C}$.

83. № 1-16, 13X14H3B2Ф. Високонавантажені деталі, в тому числі диски, вали, лопатки турбін, що експлуатуються в умовах підвищеної вологості. Термін роботи тривалий; $t_p=550\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=750\text{ }^{\circ}\text{C}$.

84. № 1-7, 15X11MФ. Робочі та напрямні лопатки парових турбін. Термін роботи дуже тривалий; $t_p=580\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=750\text{ }^{\circ}\text{C}$.

85. № 2-2, 15X12BHM. Ротори, диски, лопатки, болти. Термін роботи тривалий; $t_p=780\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=950\text{ }^{\circ}\text{C}$.

86. № 6-44, 45X22H4M3. Клапани моторів. Термін роботи тривалий, $t_p=850\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=950\text{ }^{\circ}\text{C}$.

87. № 6-44, 45X22H4M3. Клапани моторів. Термін роботи дуже тривалий; $t_p=600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=750\text{ }^{\circ}\text{C}$.

88. № 2-3, 18X12BMBP. Турбінні лопатки, кріпильні деталі. Термін роботи дуже тривалий; $t_p=500\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=750\text{ }^{\circ}\text{C}$.

89. № 3-2, 08X13. Лопатки парових турбін, клапани, болти, труби. Термін роботи обмежений; $t_p=650\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=750\text{ }^{\circ}\text{C}$.

90. № 6-4, 37X12H8Г8MФ. Диски турбін. Термін роботи тривалий, $t_{ок}=630\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=750\text{ }^{\circ}\text{C}$.

91. № 6-2, 10X11H20ГЗР. Деталі турбін. Термін роботи обмежений; $t_p=700\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=850\text{ }^{\circ}\text{C}$.

92. № 1-20, 09X16H4Б. Труби пароперегрівників і трубопроводи надвисокого тиску, листовий прокат. Термін дуже тривалий; $t_p=650\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=850\text{ }^{\circ}\text{C}$.

93. № 6-10, 09X14H19B2BP. Те саме, що і в п. 92, $t_p=700\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=850\text{ }^{\circ}\text{C}$.

94. № 1-8, 18X11MH19B2BP. Високонавантажені деталі, лопатки парових турбін, поковки дисків, роторів парових і газових турбін. Термін роботи дуже тривалий; $t_p=600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=750\text{ }^{\circ}\text{C}$.

95. № 6-9, 09X14H16Б. Труби пароперегрівників і трубопроводи надвисокого тиску, листовий прокат. Термін роботи дуже тривалий; $t_p=650\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=850\text{ }^{\circ}\text{C}$.

96. № 6-11, 09X14H19B2BP1. Ротори, диски та лопатки турбін. Термін роботи дуже тривалий; $t_p=700\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=850\text{ }^{\circ}\text{C}$.

97. № 6-8, 45X14H14B2M. Клапани моторів, поковки, деталі трубопроводів. Термін роботи тривалий; $t_p=650\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=850\text{ }^{\circ}\text{C}$.

98. № 2-5, 14X17H2. Робочі лопатки, диски, вали, втулки. Термін роботи тривалий; $t_p=400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=800\text{ }^{\circ}\text{C}$.

99. № 6-12, 40X15H7Г7Ф2МС. Лопатки газових турбін, кріпильні деталі. Термін роботи обмежений; $t_p=650\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=800\text{ }^{\circ}\text{C}$.

100. № 6-14, 08X15H24B4TP. Робочі та напрямні лопатки, кріпильні деталі, диски газових турбін. Термін роботи дуже тривалий; $t_p=700\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=900\text{ }^{\circ}\text{C}$.

101. № 6-13, 08X16H13M2Б. Поковки для дисків і роторів, лопатки, болти. Термін роботи тривалий; $t_p=600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=850\text{ }^{\circ}\text{C}$.

102. № 6-17, 19X16H15M3Б. Туби пароперегрівників і трубопроводів високого тиску. Термін роботи дуже тривалий; $t_p=350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=850\text{ }^{\circ}\text{C}$.

103. № 6-31, 12X18H10T; № 6-37, 12X18H12T; № 6-27, 12X18H9T. Деталі вихлопних систем, труби, листові та сортові деталі. Термін роботи дуже тривалий; $t_p=600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=850\text{ }^{\circ}\text{C}$.

104. № 105, 31X19H9MBT. Ротори, диски, болти. Термін роботи дуже тривалий; $t_p=600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=800\text{ }^{\circ}\text{C}$.

105. № 6-45, 10X23H18. Труби, арматура за знижених навантажень. Термін роботи тривалий; $t_p=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1050\text{ }^{\circ}\text{C}$.

106. № 6-46, 20X23H218. Деталі установок у хімічній і нафтохімічній промисловості (може використовуватись у нагрівних елементах опору). Термін роботи тривалий; $t_p=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1050\text{ }^{\circ}\text{C}$.

107. № 6-48, 12X25H16Г7AP. Листові та сортові деталі, що експлуатуються за помірних навантажень. Термін роботи тривалий; $t_p=950\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Замінює сплави ХН75МБТЮ і ХН78Т.

108. № 7-1, ХН35BT. Лопатки газових турбін, диски, ротори, кріпильні деталі. Термін роботи дуже тривалий; $t_p=650\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=900\text{ }^{\circ}\text{C}$.

109. № 7-2, ХН35BTЮ. Диски, лопатки турбін і компресорів. Термін роботи обмежений; $t_p=750\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=900\text{ }^{\circ}\text{C}$.

110. № 7-4, ХН38BT. Листові деталі, що експлуатуються за помірних напружень. Термін роботи обмежений; $t_p=950\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1050\text{ }^{\circ}\text{C}$. Замінює сплав ХН78Т.

111. № 8-4, ХН60Ю. Листові деталі турбін, що експлуатуються за помірних напружень. Може застосовуватись для нагрівних елементів опору. Термін роботи обмежений; $t_p=1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

112. № 8-10, ХН70ВМЮТ. Лопатки, кріпильні деталі. Термін роботи дуже тривалий; $t_p=750\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

113. № 8-11, ХН70ВМТЮ. Лопатки турбін. Термін роботи тривалий; $t_p=850\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

114. **№ 7-3, ХН32Т.** Газовідвідні труби, листові деталі високотемпературних нафтохімічних установок. Термін роботи дуже тривалий; $t_p=850\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

115. **№ 8-8, ХН80ТБЮ.** Лопатки, кріпильні деталі. Термін роботи дуже тривалий; $t_p=700\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1050\text{ }^{\circ}\text{C}$.

116. **№ 8-13, ХН70МВТЮБ.** Лопатки турбін. Термін роботи обмежений; $t_p=850\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

117. **№ 8-5, ХН70Ю.** Листові деталі, газопроводи, що експлуатуються за помірних напружень (може застосовуватись для нагрівних елементів опору). Термін роботи обмежений; $t_p=1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

118. **№ 8-6, ХН78Т.** Жарові труби. Термін роботи обмежений; $t_p=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

119. **№ 8-12, ХН67МВТЮ.** Лопатки, корпуси, диски, листові деталі турбін. Термін роботи тривалий: $t_{ок}=800\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, термін роботи обмежений: $t_p=850\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

120. **№ 8-7, ХН75МБТЮ.** Листові деталі турбін. Термін роботи обмежений; $t=950\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1050\text{ }^{\circ}\text{C}$.

121. **№ 8-9, ХН77ТЮР.** Диски, лопатки турбін. Термін роботи обмежений; $t_p=750\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1050\text{ }^{\circ}\text{C}$.

122. **№ 8-3, ХН60ВТ.** Листові деталі турбін. Термін роботи обмежений; $t_p=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

123. **№ 8-17, ХН57МТВЮ.** Лопатки, корпуси та інші деталі турбін. Робота короткотермінова; $t_{ок}=850\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

124. **№ 8-18, ХН55МВЮ.** Лопатки, диски турбін. Робота короткотермінова; $t_p=900\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1080\text{ }^{\circ}\text{C}$.

125. **№ 8-20, ХН62МВКЮ.** Лопатки, диски турбін. Термін роботи обмежений; $t_p=900\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1080\text{ }^{\circ}\text{C}$.

126. **№ 8-14, ХН65ВМТЮ.** Робочі та напрямні лопатки. Кріпильні деталі газових турбін. Термін роботи обмежений: $t_p=800\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1080\text{ }^{\circ}\text{C}$, термін роботи дуже тривалий: $t_p=800\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

127. **№ 8-15, ХН56ВМТЮ.** Високонавантажені деталі; $t_p=850\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1050\text{ }^{\circ}\text{C}$.

128. **№ 8-16, ХН70ВМТЮФ.** Лопатки турбін. Термін роботи тривалий; $t_p=850\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1050\text{ }^{\circ}\text{C}$.

129. **№ 8-19, ХН75ВМЮ.** Лопатки турбін. Термін роботи обмежений: $t_p=850\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1080\text{ }^{\circ}\text{C}$, термін роботи тривалий: $t_p=800\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1080\text{ }^{\circ}\text{C}$.

130. **№ 8-21, ХН56ВМКЮ.** Лопатки турбін. Термін роботи обмежений; $t_p=950\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1050\text{ }^{\circ}\text{C}$.

131. **№ 8-22, ХН55ВМТФКЮ.** Теж саме, що і в п. 130. Термін роботи обмежений; $t_p=950\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{ок}=1050\text{ }^{\circ}\text{C}$.

10. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПРОКАТУ З НЕІРЖАВКИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

У цьому розділі наведено властивості корозійностійких, жароміцних та жаростійких сталей і сплавів, марки та хімічний склад яких визначається як ГОСТ 5632–72, так і технічними умовами (ТУ) металургійної галузі.

Перелік видів металургійного прокату з неіржавких сталей і сплавів та нормативні документи, згідно з якими цей прокат виготовляють, наведено в табл. 10.1.

Таблиця 10.1. Нормативні документи на металопродукт з неіржавких сталей

№ п/п	Види металургійного прокату	Нормативні документи
1	Дріт, у тому числі зварювальний	ГОСТ 18143–72. ТУ 14-1-32–81, ТУ 14-1-160, ТУ 14-1-683–74, ТУ 14-1-946–71, ТУ 14-1-997–74, ТУ 14-1-1019–74, ТУ 14-1-2716–79, ТУ 14-1-3233–81, ТУ 14-1-3528–83, ТУ 14-1-3996–85, ТУ 14-1-4787–89
2	Заготованка труба	ТУ 14-1-416–74, ТУ 14-1-565–84, ТУ 14-1-783–73, ТУ 14-1-790–73, ТУ 14-1-1183, ТУ 14-1-12013, ТУ 14-1-2132, ТУ 14-1-2133, ТУ 14-1-2134–77, ТУ 14-1-2134–77, ТУ 14-1-2466–78, ТУ 14-1-2583–78, ТУ 14-1-2682–79, ТУ 14-1-3164–81, ТУ 14-1-3518–83, ТУ 14-1-3547–83, ТУ 14-1-316–84, ТУ 14-1-217–75.
3	Зливки	ТУ 108-682–77
4	Лист товстий	ГОСТ 7350–77, ГОСТ 7366–77. ТУ 14-1-10–71, ТУ 14-1-52–71, ТУ 14-1-134-120–76, ТУ 14-1-182–74, ТУ 14-1-394–74, ТУ 14-1-490–74, ТУ 14-1-743–73, ТУ 14-1-763–73, ТУ 14-1-894–74, ТУ 14-1-1154–71, ТУ 14-1-1422–75, ТУ 14-1-1541–75, ТУ 14-1-1749–76, ТУ 14-1-2144–77, ТУ 14-1-2194–77, ТУ 14-1-2455–78, ТУ 14-1-2476–78, ТУ 14-1-2542–78, ТУ 14-1-3071–80, ТУ 14-1-3108–80, ТУ 14-1-3292–81, ТУ 14-1-3467–82, ТУ 14-1-3587–83, ТУ 14-1-3622–83, ТУ 14-1-3801–84, ТУ 14-1-3897–85, ТУ 14-1-3898–85, ТУ 14-1-4663–89, ТУ 14-1-4684–89, ТУ 14-1-4763–89, ТУ 14-1-4684–89, ТУ 14-1-4719–80, ТУ 108-683–77
5	Лист тонкий	ГОСТ 5582–75. ТУ 14-1-132–89, ТУ 14-1-205–74, ТУ 14-1-367–74, ТУ 14-1-648–73, ТУ 14-1-692–73, ТУ 14-1-756–73, ТУ 14-1-946, ТУ 14-1-1180, ТУ 14-1-1206–74, ТУ 14-1-1309–75, ТУ 14-1-1485–75, ТУ 14-1-1546–75, ТУ 14-1-1558–76, ТУ 14-1-1750–76, ТУ 14-1-1905–76, ТУ 14-1-2186–77, ТУ 14-1-2476–78, ТУ 14-1-2696–79, ТУ 14-1-2849–79, ТУ 14-1-2879–80, ТУ 14-1-2905–80, ТУ 14-1-2929–80, ТУ 14-1-3108–80, ТУ 14-1-3199–81, ТУ 14-1-3308–82, ТУ 14-1-3485–82, ТУ 14-1-3620–83, ТУ 14-1-3802–84, ТУ 14-1-3874–84, ТУ 14-1-3898–85, ТУ 14-1-4028–85, ТУ 14-1-4362–87
6	Лист холоднокатаний	ТУ 14-1-3848–84
7	Поковка	ТУ 14-1-1530–76, ТУ 14-1-1754–85, ТУ 14-1-1847–76, ТУ 14-1-2902–80, ТУ 14-1-2918–80.

№ п/п	Види металургійного прокату	Нормативні документи
8	Прутки	ТУ 14-1-2595-79, ТУ 14-1-2902-80, ТУ 14-1-3190-81, ТУ 14-1-4042-85
9	Сляб кований	ТУ 108-702-77
10	Сорт (квадрат, круг)	ГОСТ 5949-75. ТУ 14-1-133-81, ТУ 14-1-95-71, ТУ 14-1-205-74, ТУ 14-1-240-74, ТУ 14-1-377-74, ТУ 14-1-378-74, ТУ 14-1-655-73, ТУ 14-1-656-73, ТУ 14-1-748-73, ТУ 14-1-946-74, ТУ 14-1-952-74, ТУ 14-1-1141-74, ТУ 14-1-1190-75, ТУ 14-1-1404-75, ТУ 14-1-1406-75, ТУ 14-1-1554-75, ТУ 14-1-1660-76, ТУ 14-1-1831-76, ТУ 14-1-1996-74, ТУ 14-1-2165-77, ТУ 14-1-2230-70, ТУ 14-1-2260-77, ТУ 14-1-2273-77, ТУ 14-1-2674-79, ТУ 14-1-2787-79, ТУ 14-1-2906-80, ТУ 14-1-2922-80, ТУ 14-1-3041-80, ТУ 14-1-3092-81, ТУ 14-1-3239-81, ТУ 14-1-35-64-83, ТУ 14-1-3812-84
11	Стрічка та підка-тка	ГОСТ 4986-79. ТУ 14-1-1160-74, ТУ 14-1-1215-75, ТУ 14-1-1370-75, ТУ 14-1-1440-75, ТУ 14-1-1517-76, ТУ 14-1-1940-71, ТУ 14-1-2014-77, ТУ 14-1-2230-77, ТУ 14-1-2273-77, ТУ 14-1-2349-78, ТУ 14-1-2410-78, ТУ 14-1-3265-81, ТУ 14-1-3165-81, ТУ 14-1-3166-81, ТУ 14-1-3194-81, ТУ 14-1-3249-81, ТУ 14-1-3280-81, ТУ 14-1-3301-82, ТУ 14-1-3386-82
12	Труби гарячеде-формовані	ГОСТ 9940-81. ТУ 14-3-59-74, ТУ 14-3-301-74, ТУ 14-3-396-75, ТУ 14-3-1320-85
13	Труби електро-зварні	ТУ 14-3-1227-83, ТУ 14-3-1478-87
14	Труби холодно-та тепलोдеформо-вані	ГОСТ 9941-81. ТУ 14-3-59-74, ТУ 14-3-303-74, ТУ 14-3-387-75, ТУ 14-3-396-75, ТУ 14-3-1024-81, ТУ 14-3-1275-85, ТУ 14-242-122-75, ТУ 14-242-236-75, ТУ 14-242-137-75

10.1. Хромисті сталі

Корозійностійкі хромисті сталі подано в ГОСТ 5632-72 марками мартенситного (20X13, 30X13, 41X13, 95X18), мартенситно-феритного (12X13) і феритного (08X13, 12X17, 08X17T, 08X18T1, 15X25T, 15X28) класів.

Рівень корозійної стійкості цих сталей визначається умістом хрому. За корозійною стійкістю їх можна поділити на три основні групи: а) на основі 13 % Cr; б) на основі 17 % Cr; в) на основі 25...28 % Cr.

Хромисті сталі, які містять 13 % Cr, мають високу стійкість проти рівномірної корозії в атмосферних умовах, у слабких розчинах кислот, солей та інших слабоагресивних середовищ за кімнатної температури. Сталі цієї групи використовують передусім як матеріали з підвищеною твердістю, що працюють на зношування, для різального інструменту та пружних елементів конструкції. Їх застосовують після загартування та відпуску на задану твердість.

Завдяки низькій критичній твердості загартування сталі 10X13, 30X13 і 40X13 загартовують на мартенсит здебільшого охолодженням на повітрі. Піс-

ля загартування здійснюють відпуск за температури 200...300 °С для зняття внутрішніх напружень.

Сталі мартенситного класу, як правило, застосовують після загартування та низького (до 450 °С) і високого (630...650 °С) відпуску. Після відпуску середнього відпуску (понад 450 до 630 °С) знижується корозійна стійкість.

Близькими за корозійною стійкістю до наведених мартенситних сталей є сталі 08X13 (феритна) і 12X13 (мартенситно-феритна). У зв'язку з більш низьким вмістом вуглецю ці сталі мають меншу, ніж у мартенситних, твердість, але відрізняються більшою пластичністю, в'язкістю та задовільною зварністю.

Для сталей з 13 % хрому характерна знижена стійкість проти корозійного розтріскування та пітингової (точкової) корозії в середовищах, які містять іони хлору.

Сталі феритного класу з вмістом хрому 17...28 % мають суттєво вищу корозійну стійкість. Уміст у сталях 17 % Cr забезпечує перший бал стійкості в 65-й HNO_3 за температури 50 °С. Підвищення концентрації хрому до 25...28 % підвищує стійкість в азотній кислоті, розширюючи температурний інтервал першого бала стійкості в діапазоні малих і середніх концентрацій.

Стійкість чисто хромистих сталей в азотній кислоті пояснюється їх високою схильністю до пасивування.

Хромисті сталі типу X25, X28 мають високу стійкість у гарячих концентрованих розчинах лугів, яка значно перевищує стійкість хромонікелевих аустенітних сталей типу 08X18Ni10Ti.

До недоліків високохромистих феритних сталей потрібно відзначити холодноламкість і схильність до МКК. Посилюють ці властивості домішки вуглецю, сірки, марганцю, кремнію та фосфору. Холодноламкість феритних хромистих сталей зумовлюється зростанням кристалічних зерен навіть в умовах відносно короткочасних технологічних нагрівань (наприклад, зварювання) за температур, вищих за 850...900 °С. Утрата стійкості до МКК виникає після нагрівання до 900...1000 °С і швидкого охолодження. Стійкість до МКК можна забезпечувати за зниженого сумарного вмісту вуглецю та азоту до рівня 0,01...0,015 %. У разі перевищення цих значень необхідно уводити в сталь стабілізатори – титан і ніобій.

10.1.1. Сталь 08X13 (ЭИ 496)

Застосування. Використовують як корозійностійкий конструкційний матеріал для деталей і виробів, у тому числі і зварних, яким потрібно мати запас пластичності, ударної в'язкості та опірність слабоагресивним середовищам. Сталь 08X13 застосовують як жаростійкий матеріал за температур 750...800 °С.

Корозійна стійкість. Сталь 08X13 має перший бал стійкості в азотній кислоті 10...20 %-ї концентрації за температури 40 °С, 30 %-ї концентрації за температури 20 °С, у водних розчинах аміаку будь-якої концентрації за температури 20...100 °С, у водогінній воді, сірчаноокислій міді, етиловому спирті, сірчаній кислоті 90...100 %-ї концентрації за температури 20 °С.

Фізичні властивості. Густина $\rho=7730 \text{ кг/м}^3$.

Зварювання. Сталь 08X13 зварюється у будь-який спосіб. Для досягнення високої пластичності зварних з'єднань використовують як присадковий матеріал аустенітний дріт марок Св-07Х25Н13, Св-13Х25Н18, Св-08Х20Н. Ці марки дроту застосовують для автоматичного дугового зварювання, а перші дві – і для ручного зварювання в електродах типу ЭА-2.

Технологічні параметри. Сталь 08X13 деформується в гарячому і холодному станах. Температурний діапазон гарячого деформування 1180...900 °С; після гарячого деформування – повільне охолодження.

Термічне оброблення. Сталь 08X13 зазвичай застосовують після високого відпуску за температури 680...780 °С з охолодженням у печі або на повітрі, а також після загартування від 1000...1050 °С з охолодженням у воді і відпуску за температури 700...800 °С з охолодженням на повітрі. Перший режим використовують для пом'якшення сталі, маючи на увазі подальше проведення будь-яких технологічних операцій; другий режим – остаточна термічне оброблення, що забезпечує оптимальне поєднання механічних властивостей та корозійної стійкості.

Для зварних конструкцій, які піддаються динамічним навантаженням, необхідне термічне оброблення у вигляді відпалу за температури 760...780 °С з наступним повільним охолодженням. Застосування термічного оброблення є недоцільним, якщо сталь експлуатується як жаростійкий матеріал.

Фізико-механічні властивості сталі 08X13 наведено в табл. 10.2.

Таблиця 10.2. Фізико-механічні властивості сталі 08X13

t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/м ²	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹	$E \cdot 10^{-5}$, МПа
20	470...520	280...360	25...37	73...80	24...33	10,5	2,12
100	445	280...305	28...29	77...79	36	10,8	2,07
200	410...430	250...280	27...29	75...78	34...38	11,1	1,97
300	390...410	240...280	22...27	73...77	34...37	11,4	1,95
400	350...386	220...260	23...26	71...79	35...37	11,8	1,73
500	220...290	190...230	26...37	73...84	30...33	12,1	1,66
600	170...185	150...170	34...45	87...89	25...27	12,3	—
700	—	—	—	—	—	12,5	—
800	—	—	—	—	—	12,8	—

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат із сталі 08X13 випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 5949–75 (сорт), ГОСТ 7350–77 (лист товстий), ГОСТ 9940–81 (труби гарячедеформовані), ГОСТ 9941–81 (труби холодно- і теплодеформовані), ТУ 14-1-2273–77 (сорт), ТУ 14-1-3250–81 (стрічка та підкатка), ТУ 14-1-3620–83 (лист тонкий).

10.1.2. Сталь 12X13

Застосування. Використовують як корозійностійкий конструкційний матеріал для деталей і виробів, у тому числі зварних, до яких ставляться вимоги до підвищеної міцності, пластичності та опірності слабоагресивним середовищам.

Сталь 12X13 застосовують як жароміцний матеріал за температури до 550 °С і як жаростійкий – до 700 °С. Як жароміцний матеріал цю сталь використовують для виготовлення турбінних лопаток, арматури крекінг-установок, кріпильних виробів, бандажів, деталей котлів та інших апаратів, які експлуатуються за температури 450...550 °С.

Корозійна стійкість. За корозійною стійкістю сталь 12X13 близька до сталі 08X13.

Жаростійкість сталі в атмосфері спокійного повітря наведено в табл. 10.3.

Таблиця 10.3. Жаростійкість сталі 12X13 в атмосфері спокійного повітря

$t, ^\circ\text{C}$	600	700	750	800	850	900
$v_{\text{ок}}, \text{мм/рік}$	0,02	0,12	0,23	0,45	0,83	1,5

Фізичні властивості. Густина $\rho = 7750 \text{ кг/м}^3$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 28 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Зварювання. Сталь 12X13 задовільно зварюється електродуговим та аргонодуговим способами в автоматичному та ручному режимах. Для автоматичного та ручного зварювання рекомендується дріт Св-10X13, Св-06X14. У разі автоматичного дугового зварювання використовують флюс АН-17, АН-18, а для ручного зварювання – електроди типу ЭФ-Х13. Для запобігання виникненню холодних тріщин під час зварювання металу товщиною, більшою за 12 мм, його необхідно підігрівати до 250...400 °С.

Технологічні параметри. Рекомендований діапазон температур гарячого пластичного деформування – 1200...850 °С. Зливки або інші напівфабрикати великих поперечних перерізів потрібно нагрівати не вище за 800 °С.

Термічне оброблення. Для сталі 12X13 зазвичай застосовують два режими термічного оброблення, що забезпечують поєднання корозійної стійкості з різними рівнями міцності.

Перший режим – загартування від 980...1020 °С у маслі або на повітрі з наступним відпуском за температури 250...400 °С і охолодженням на повітрі. Другий режим – загартування від 920...950 °С у маслі або на повітрі з наступним відпуском за температури 540...700 °С і охолодженням на повітрі.

У тих випадках, коли сталь 12Х13 використовують як жароміцний матеріал, застосовують загартування від 1000...1050 °С на повітрі, в маслі або у воді з наступним відпуском за температури 650...750 °С і охолодженням на повітрі, в маслі або у воді.

Для зняття внутрішніх напружень або наклепу застосовують або відпуск за температури 730...780 °С з охолодженням на повітрі, або відпалювання за температури 850...900 °С під час охолодження разом з піччю. Після такого термічного оброблення сталь має задовільну технологічність під час виконання операцій холодного пластичного деформування та оброблення різанням. Гаряче пластичне деформування не спричиняє ускладнень.

Зварні з'єднання або зварні вироби обов'язково потрібно піддати відпуску за температури 700...750 °С для зняття напружень і вирівнювання міцності зварного шва.

Фізико-механічні властивості сталі 12Х13 наведено в табл. 10.4.

Таблиця 10.4. Фізико-механічні властивості сталі 12Х13

t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/м ²	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹	$E \cdot 10^{-5}$, МПа
20	745	604	19,5	66	145	—	2,21
200	665	545	17,5	67	215	9,7	2,16
300	615	520	16	68,5	245	10,45	2,11
400	585	475	15	66,5	250	11,4	2,02
500	545	480	15,5	69,5	255	11,4	1,93
550	465	425	20	79	270	11,5	1,83
700	66	—	58,7	97,6	180	11,8	1,68
800	36	—	61,7	96,6	150	12,0	—
900	27	—	66,7	96,2	150	—	—
1000	25	—	68,0	66,0	140	—	—

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат із сталі 12Х13 випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 4986–78 (стрічка та підкатка), ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 5949–75 (сорт), ГОСТ 7350–77 (лист товстий), ГОСТ 9940–81 (труби гарячедеформовані), ГОСТ 9941–81 (труби холодно- і теплodeформовані), ГОСТ 18143–72 (дріт), ТУ 14-1-95–71(ЭШ) (сорт), ТУ 14-1-377–74 (сорт), ТУ 14-1-655–73 (сорт), ТУ 14-1-2186–77(ЭШ) (лист тонкий), ТУ 14-1-2273–77 (сорт), ТУ 14-1-2906–80 (сорт), ТУ 14-1-3092–81 (сорт), ТУ 14-1-3250–81 (стрічка та підкатка), ТУ 14-1-3260–83 (лист тонкий).

10.1.3. Сталь 20X13

Застосування. Використовують для виробів, які піддаються дії слабоагресивних середовищ (атмосферні умови, крім морських, водні розчини азотної кислоти слабкої та середніх концентрацій за помірних температур). Сталь 20X13 застосовують, коли вироби мають бути достатньо міцними і водночас пластичними та з підвищеною в'язкістю. Цю сталь використовують як жароміцний матеріал за температур до 550 °С і як жаростійкий – до 700 °С.

Корозійна стійкість. Сталь 20X13 має високу стійкість (крім морської атмосфери), у річковій і водогінній воді. Для роботи виробів у газоподібному водні допустимі параметри: $t=600$ °С, $p=80$ МПа.

Фізичні властивості. Густина $\rho=7760$ кг/м³, коефіцієнт теплопровідності $\lambda=24,78$ Вт/(м·К) за температури 200 °С і $\lambda=21,8$ Вт/(м·К) за температури 600 °С. Масова теплоємність $c=441$ Дж/(кг·К) за температури 20 °С і $c=966$ Дж/(кг·К) за температури 700 °С.

Зварювання. Сталь 20X13 задовільно зварюється електродуговим та аргонодуговим способами в автоматичному та ручному режимах. Для автоматичного режиму потрібно застосовувати зварювальний дріт Св-10X13 і Св-06X14 і флюси АН17 або АН18. Для ручного електродугового зварювання застосовують електроди типу ЭФ-Х13. Для уникнення холодних тріщин у зварних з'єднаннях під час зварювання виробів товщиною понад 8 мм і виробів меншої товщини, але жорстко защемлених, їх необхідно заздалегідь або одночасно прогрівати до 250...400 °С.

Технологічні параметри. Сталь 20X13 має задовільну технологічність під час гарячого пластичного деформування. Температурний діапазон деформування: початок 1100 °С, завершення 875...900 °С. Нагрівання під прокатування та кування до 780 °С здійснюється повільно; після деформації охолодження теж має бути повільним.

Термічне оброблення. Пом'якшувальне термічне оброблення сталі після гарячого пластичного деформування – відпалювання за температури 750 °С з охолодженням разом з піччю до 500 °С. Остаточне термічне оброблення – загартування від 950...1000 °С з охолодженням у маслі або на повітрі та відпуск на задані твердість і корозійну стійкість.

Нормативні механічні властивості сталі 20X13: $\sigma_b=500...660$ МПа, $\sigma_{0,2}=372...450$ МПа, $\delta=20...16$ %.

Фізико-механічні властивості сталі 20X13 наведено в табл. 10.5.

Металургійний прокат із сталі 20X13 випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 4986–78 (стрічка та підкатка), ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 5949–75 (стрічка та підкатка), ГОСТ 7350–77 (лист товстий), ТУ 14-1-95–71 (сорт), ТУ 14-1-377–74 (сорт), ТУ 14-1-378–74 (сорт), ТУ 14-1-1404–75(ЭШ) (сорт), ТУ 14-1-2186–77 (ЭШ) (лист тонкий), ТУ 14-1-2476–78, ТУ 14-1-2906–80, ТУ 14-1-3092–81, ТУ 14-1-3280–81, ТУ 14-1-3620–83, ТУ 14-1-3897–85(ЭШ,ОИ), ТУ 14-1-3898–85(ЭШ, ОИ).

Таблиця 10.5. Фізико-механічні властивості сталі 20Х13

t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/м ²	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹	$E \cdot 10^{-5}$, МПа
-40	780	590	23	57	50	—	2,2
-20	740	570	21	59	59	—	—
20	720	520	21	65	100	—	2,23
100	—	—	—	—	—	10,1	2,18
200	—	—	—	—	—	10,	2,12
300	555	400	18	66	200	10,9	2,04
400	530	405	16,5	58,5	205	11,4	1,93
450	495	380	17,	57	240	11,8	—
500	440	365	32,5	75	250	—	1,84
550	350	285	36,5	83,5	223	—	—
600	—	—	—	—	—	—	172

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених для сталі 12Х13.

10.1.4. Сталі 30Х13, 40Х13

Застосування. Сталі 30Х13, 40Х13 використовують як корозійностійкі матеріали з високою твердістю для різального, вимірювального та хірургічного інструментів, пружин, підшипників та інших пристроїв, що працюють на зношування в слабоагресивних середовищах, у побутових приладах і предметах широкого вжитку.

Сталь 30Х13 застосовують як жароміцний матеріал для роботи за температури 400...450 °С для кріпильних виробів, валів, пружних елементів, які випробовують дію слабоагресивних середовищ, наприклад, у процесах перероблення нафти.

Сталі 30Х13, 40Х13 не зварюються.

Корозійна стійкість. Сталі 30Х13, 40Х13 мають хорошу корозійну стійкість в атмосферних умовах (крім морської атмосфери), у слабких розчинах азотної кислоти за помірних температур, у водогінній і річковій воді.

Корозійна стійкість обох марок суттєво залежить від якості поверхні виробів, які доцільно експлуатувати зі шліфованим або полірованими поверхнями. Крім того, на корозійну стійкість значною мірою впливає підвищена чистота неметалевих домішок.

Для роботи в середовищах газоподібного водню допустимі параметри: $t = 600$ °С, $p = 80$ МПа.

Фізичні властивості. Густина $\rho = 7760$ кг/м³ (сталь 30Х13) і 7680 кг/м³ (сталь 40Х13). Коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{t=100\text{ °С}} = 25,2$ Вт/(мК), $\lambda_{t=500\text{ °С}} = 25,6$ Вт/(м·К) для сталі 30Х13; $\lambda_{t=100\text{ °С}} = 27,7$ Вт/(м·К), $\lambda_{t=500\text{ °С}} = 25,8$ Вт/(мК) для сталі 40Х13. Коефіцієнт температурного відносного

лінійного розширення в інтервалі температур 20...100 °С $\alpha=9,98 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ для сталі 30Х13, $\alpha=10,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ для сталі 40Х13, а в діапазоні температур 400...500 °С $\alpha=11,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ для сталі 30Х13, $\alpha=11,88 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ для сталі 40Х13. Модуль пружності під час розтягування $E=(2,23...1,74) \cdot 10^5$ МПа для сталі 30Х13 та $E=(2,18...1,63) \cdot 10^5$ МПа для сталі 40Х13 у діапазоні температур 20...500 °С.

Технологічні параметри. Сталі 30Х13, 40Х13 добре піддаються гарячому пластичному деформуванню, яке здійснюють у діапазоні температур 1100...850 °С. Обидві сталі схильні до утворення тріщин у разі швидкого нагрівання та охолодження. Тому під час нагрівання під гарячу деформацію застосовують повільне нагрівання до 830 °С, а після деформації уповільнене охолодження в піску або в стопі. Холодна деформація обох сталей обмежена.

Термічне оброблення. Пом'якшувальне термічне оброблення обох сталей після гарячої і холодної пластичних деформацій – відпалювання за температури 750...800 °С з охолодженням разом з піччю до 500 °С, а потім на повітрі.

Остаточне термічне оброблення – загартування з 950...1000 °С з охолодженням у маслі або на повітрі та наступним відпуском на задану твердість і корозійну стійкість.

Фізико-механічні властивості сталей 30Х13 і 40Х13 наведено в табл. 10.6.

Графічну ілюстрацію залежності твердості від температури загартування та температури відпуску показано на рис. 10.1 і 10.2.

Таблиця 10.6. Фізико-механічні властивості сталей 30Х13 і 40Х13

t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/м ²
Сталь 30Х13 (загартування від 1000 °С на повітрі, відпуск за температури 650 °С)					
20	965	715	16,0	52,3	55
200	835	670	14,0	57,5	130
300	790	640	13,0	53,0	125
400	720	585	12,5	52,5	160
500	620	540	14,0	54,5	165
600	460	420	21,0	80,5	160
Сталь 40Х13 (загартування від 1050 °С на повітрі, відпуск за температури 600 °С НВ 311...331)					
20	1140	910	12,5	32,5	12
200	960	830	11,0	40,5	50
300	920	730	10,0	38,5	70
400	790	685	11,5	45,0	75
500	530	475	19,5	76,5	80
600	310	260	21,0	84,0	120

t , °C	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/м ²
Сталь 40Х13 (загартування від 1050 °С на повітрі, відпуск за температури 650 °С НВ 277...286)					
20	950	725	14,0	41,5	25
400	—	—	—	—	95
450	650	555	15,0	44,0	—
500	550	—	18,0	67,0	136

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

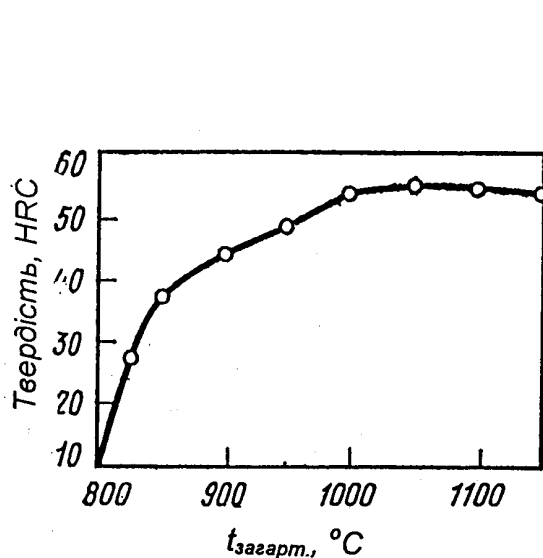


Рис. 10.1. Залежність твердості сталі 30Х13 від температури загартування

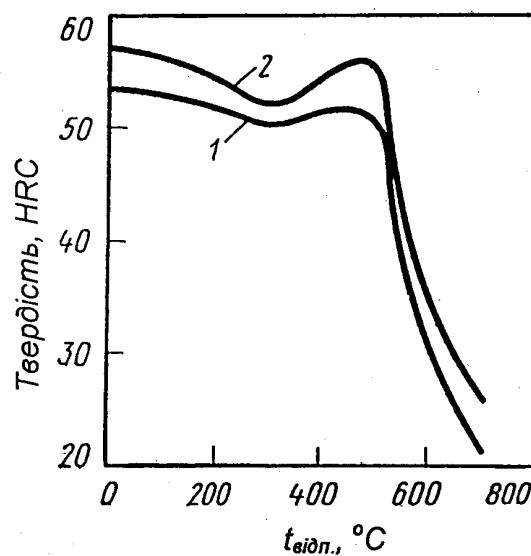


Рис. 10.2. Вплив температури відпуску сталі 40Х13 після загартування в мастилі від 980 °С (1) і 1050 °С (2)

Металургійний прокат із сталей 30Х13, 40Х13 випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 4986–78 (лист товстий), ГОСТ 5582–84 (лист товстий), ГОСТ 5949–75 (стрічка та підкатка), ГОСТ 18143–72 (дріт), ТУ 14-1-377–77 сорт), ТУ 14-1-655–73 (сорт), ТУ 14-1-1422–75 (лист товстий), ТУ 14-1-2186–77(ЭШ) (лист тонкий), ТУ 14-1-2906–80 (сорт), ТУ 14-1-3092–81 (сорт), ТУ 14-1-3620–83 (лист тонкий).

10.1.5. Сталі 12Х17, 08Х17Т(ЭИ645), 08Х18Т1, 08Х18Тч (ДИ77)

Застосування. Ці сталі використовують для виготовлення виробів, що контактують передусім з окисними середовищами, наприклад, з розчинами азотної кислоти. З них виготовляють побутові прилади, устаткування легкої та харчової промисловості. Застосування сталей 12Х17, 08Х17Т і 08Х18Т1 у зварних виробках обмежується товщиною до 3 мм. Не рекомендуються такі

сталі для зварних конструкцій, що експлуатуються в умовах ударних навантажень.

Гранична температура експлуатації пристроїв із сталей 08X17T, 08X18T1 становить не нижче мінус 20 °С, із сталі 12X17 – не нижче від кімнатної.

Корозійна стійкість. ГОСТ 6032–89 передбачає випробування на стійкість до МКК лише для сталі 08X17T. Ця сталь не повинна бути схильною до МКК після нагрівання протягом 30 хв за температури 1100 °С. Випробування виконують за методом АМУ протягом 8 год.

Сталі 12X17 і 08X17T мають перший бал корозійної стійкості в азотній кислоті концентрацією 20, 50, 60 % за температури до 100 °С, сталь 08X17T – у киплячих 50...80 %-х розчинах аміачної селітри та в умовах виробництва аміачної селітри, в суміші азотної, фосфорної та фтористоводневої кислоти за температури 60 °С, у суміші сірководню та гідрооксиду натрію, а також у виробництві лампової та форсункової сажі.

Сталі 08X18T1 і 08X18Tч використовують для виготовлення побутових приладів, у харчовій промисловості та для торговельного устаткування. Ці сталі також застосовують для виготовлення баків побутових пральних машин, столових приладів, котлів для приготування їжі і т.ін.

Сталі 12X17, 08X17T, 08X18T і 08X18Tч можуть успішно експлуатуватися в атмосферних умовах, крім морської атмосфери, де можлива точкова корозія.

Фізичні властивості. Густина $\rho = 7700 \text{ кг/м}^3$. За температури 20 °С коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 25,2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Модуль пружності $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ (за температури 20 °С). Температурний коефіцієнт відносного лінійного розширення залежно від температури наведено в табл. 10.7.

Таблиця 10.7. Залежність температурного коефіцієнта відносного лінійного розширення сталей 12X17, 08X17T, 08X18T і 08X18Tч від температури

$t, ^\circ\text{C}$	20...100	20...200	20...400	20...500
$\alpha \cdot 10^6 \text{ K}^{-1}$	10,0	10,0	10,5	11,0

Зварювання. Сталі 12X17, 08X17T, 08X18T1, 08X18Tч є обмежено зварюваними матеріалами. Основна причина обмежень – низькі пластичність та ударна в'язкість будь-якої високохромистої сталі, у якій концентрація елементів упродовження вуглецю та азоту досить висока. Пластичність та ударна в'язкість теж зменшується внаслідок зростання кристалічних зерен під впливом зварювального циклу.

Знижені механічні та корозійні властивості в зонах зварних з'єднань має сталь 12X17. Дещо кращі ці показники мають сталі 08X17T, 08X18T1 і 08X18Tч, які стабілізовані титаном.

Задовільних механічних властивостей зварних з'єднань сталей 08X17 і 18T1 можна домогтися зварюванням виробів завтовшки 2...3 мм. За таких умов зварні з'єднання можна експлуатувати за температур до мінус 20 °С.

Сталь 12X17 для зварних з'єднань застосовувати не рекомендується.

Для автоматичного електродугового зварювання сталей 08X17T, 08X18T1 під шаром флюсу АН-26 або АНФ-14 застосовують зварювальний дріт марок Св-08X20Н9Г7Т і Св-05X25Н12ТЮ.

Сталь 08X18T1 успішно зварюється аргонодуговим способом без присадкового матеріалу або з таким у вигляді дроту із сталі 10X18Н10Т.

У місцях малих поперечних перерізів усі сталі, розглянуті в цьому розділі, зварювати потрібно лише контактним способом.

Якщо зварні з'єднання хромистих сталей піддаються гнуттю або випрямлянню в місцях максимальних перерізів, їх необхідно нагрівати до 150...200 °С.

Технологічні параметри. Сталі 12X17, 08X17T і 08X18T1 добре піддаються гарячому пластичному деформуванню з жорстким дотриманням температурних режимів: початок 950...1050 °С, завершення 720...800 °С. Відносно вузький температурний діапазон гарячої пластичної деформації забезпечує дрібне феритне зерно. Після деформації заготованку охолоджують на повітрі.

Сталі 12X17, 08X17 і 08X18T1 мають менший запас пластичності, ніж аустенітні сталі, і гірше піддаються холодному деформуванню. Проте в разі правильно проведеного попереднього гарячого деформування та оптимального термічного оброблення сталі можна використовувати для виробів, які виготовляють методом холодної витяжки, гнуття, штампування. Під час проектування таких деталей доцільно уникати малих радіусів закруглень.

Термічне оброблення. Оптимальним термічним обробленням сталей 12X17 і 08X17 є відпалювання або відпуск за температур 740...800 °С з охолодженням на повітрі або у воді. Сталь 08X18T1 піддають відпалу за температур 830...860 °С з охолодженням на повітрі або у воді.

Для малих перерізів, наприклад холоднокатаного листа із сталей 08X18T1 і 08X18Tч, застосовують нормалізацію за температур 860...1000 °С з охолодженням на повітрі або за температур 960...980 °С з охолодженням у воді. Швидкість нагрівання в останньому випадку – 2...3 хв на 1 мм товщини листа.

Металургійний прокат випускається згідно з нормативними документами:

а) сталь 12X17 – ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 5949–75 (сорт), ГОСТ 7350–77 (лист товстий), ГОСТ 9940–81 (труби гарячедеформовані), ГОСТ 9941–81 (труби холодно- та теплодеформовані), ТУ 14-1-367–74 (стрічка та підкатка), ТУ 14-1-2273–77 (смуга), ТУ 14-1-2906 (сорт), ТУ 14-1-2929–80(ОИ) (стрічка та підкатка);

б) сталь 08X17T – ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 5949–75 (сорт), ГОСТ 7350–77 (лист товстий), ТУ 14-1-565–84 (трубна заготованка);

в) сталь 08X18 – ГОСТ 5582–84 (лист тонкий);

г) сталь 08X18Tч – ГОСТ 5582–84 (лист тонкий), ТУ 14-1-4017–85 (лист тонкий).

10.1.6. Сталь 015X18M2Б (ЭП882)

Застосування. Сталь призначена для виготовлення теплообмінного устаткування енергетичних установок, які експлуатуються в умовах пароводяного середовища високих температури й тиску (трубні системи сепараторів-пароперегрівачів, парогенераторів, конденсаторів, трубчасті решітки і т.ін.). Цю сталь також застосовують у хімічній і нафтохімічній промисловості. Її не рекомендовано використовувати в сильно окисних середовищах, а також в умовах вибухових навантажень за температур, нижчих за 50 °С.

Корозійна стійкість. Сталь має високу стійкість проти рівномірної, атмосферної і точкової (пітингової) корозії. Вона має високу стійкість до МКК у широкому діапазоні високотемпературних провокуючих нагрівань і після старіння в інтервалі температур 280...400 °С тривалістю 2500...3000 год (контроль за методом АМ згідно з ГОСТ 6032–89).

За стійкістю проти корозійного розтріскування сталь 015X18M2Б значно перевищує сталі типу X18H10T.

Фізичні властивості. Густина $\rho=7740$ кг/м³. Коефіцієнт теплопровідності $\lambda=20,1$ Вт/(м·К) за температури 20 °С і $\lambda=21,4$ Вт/(м·К) за температури 400 °С.

Зварювання. Сталь зварюється в листах товщиною до 40 мм. Зварювання здійснюють неплавким вольфрамовим електродом у середовищі аргону без попереднього та супутнього підігрівання за сумарного вмісту вуглецю та азоту в сталі не більше за 0,02 %.

Технологічні параметри. Сталь добре кується та прокатується в діапазоні температур 1200...700 °С. Для отримання однорідної дрібнозернистої структури необхідно встановити температуру нагрівання під кування не вище від 1050 °С і сумарний ступінь деформації, не менший за 40 %.

Термічне оброблення. Нагрівання до 800 °С, витримування протягом 1 год. Охолодження – на повітрі.

Фізико-механічні властивості сталі 015X18M2Б наведено в табл. 10.8.

Таблиця 10.8. Фізико-механічні властивості сталі 015X18M2Б

t , °С	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/м ²	α , К ⁻¹	$E \cdot 10^{-5}$, МПа
20	559	370	29,3	76,6	50	9,9	2,2
100	531	370	25,8	76,6	300	9,	2,16
200	496	313	26,5	75,8	300	10,3	2,1
300	504	347	23,7	79,8	300	10,8	2,0
400	440	267	22,8	75,8	300	11,3	1,88
500	420	254	23,1	78,9	320	11,4	1,82
600	300	240	29,8	86,5	300	11,7	1,66

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними технічних умов, наведених нижче.

Металургійний прокат випускається згідно з нормативними документами: ТУ 14-1-2194–77 (лист товстий), ТУ 14-1-2466–78 (трубна заготованка), ТУ 14-131-216–75 (трубна заготованка), ТУ 14-131-217–75 (трубна заготованка), ТУ 14-242-136–75 (труба), ТУ 14-242-136–75 (труба), ТУ 14-108-682–77 (зливок), ТУ 108-683–77 (лист товстий).

10.1.7. Сталь 15X25T (ЭИ439)

Застосування. Сталь 15X25T використовують як жаростійкий матеріал для роботи за температур до 1000 °С. Її рекомендують як замітник сталі 12X18Н10Т.

Сталь 15X25T застосовують як корозійностійкий матеріал за температур експлуатації до 300...350 °С переважно в окисному середовищі у виробництві каустичної соди.

Сталь є такою, що зварюється, але в зв'язку з підвищеною холодноламкістю зварних з'єднань експлуатація зварних швів можлива лише за температури, вищої за 100 °С.

Корозійна стійкість. Сталь 15X25 має високу стійкість в окисному середовищі. Її необхідно контролювати на стійкість до МКК за методами АМ та АМУ (ГОСТ 6032–89) з тривалістю випробувань у контрольних розчинах 24 і 8 год відповідно. Перед випробуванням сталь піддають провокуючому нагріванню за температури 1100 °С протягом 30 хв.

Швидкість корозії сталі 15X25T в азотній кислоті (концентрацією до 40 %) за температури $t_{\text{кип}}$ становить 0,1 мм/рік; у 10...90 %-й фосфорній кислоті за температури 20...70 °С – менше від 0,01 мм/рік; у калії двохромовоксидному ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) за концентрації до 10,7 % ($t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $t_{\text{кип}}$) швидкість корозії становить 0,1...1,0 мм/рік.

Сталь 15X25T має високу стійкість у сірчистолужних відходах нафтопереробних заводів. Швидкість корозії в середовищах щолоку (16...79 % Na_2S , 1,2...37 % NaHS) за температури 120 °С становить 0,011 мм/рік.

Фізичні властивості. Густина $\rho=7600\text{ кг/м}^3$.

Зварювання. Сталь 15X25T зварюється ручним та автоматичним способами. Через підвищену холодноламкість і схильність цієї сталі до зростання кристалічного зерна від дії зварювального циклу для запобігання окрихчуванню зварного з'єднання під час зварювання використовують аустенітний хромонікелевий присадковий матеріал, який сприяє утворенню в шві аустенітно-феритної структури.

Для досягнення корозійної стійкості та жаростійкості зварного з'єднання, аналогічних основному металу, вміст хрому в присадковому матеріалі має бути близьким до його вмісту в самій сталі.

Для автоматичного зварювання належить використовувати дріт Св-07Х25Н13, Св-06Х25Н12ТЮ і Св-13Х25Н18 з флюсом АН-26.

У випадку ручного електродугового зварювання задовільну пластичність забезпечують електроди з дротом із сталі Св-13Х25Н18 (марки ОЗЛ) або з дротом Св-07Х25Н13 типу АЭ-2, АЭ-25.

Для уникнення утворень тріщин у навколошовній зоні бажане місцеве прогрівання основного металу в зоні зварного з'єднання до 150...200 °С. Ця операція особливо потрібна під час зварювання сталі в листі завтовшки понад 12 мм.

Технологічні параметри. Сталь 15Х25Т задовільно піддається холодному пластичному деформуванню, не проявляючи при цьому особливої схильності до нагартування, а також має задовільну технологічність для гарячого пластичного деформування.

Для остаточної операції гарячого оброблення сталі 15Х25Т рекомендується температурний діапазон 1000...700 °С, а для проміжних операцій – 1000...800 °С. Знижений температурний поріг остаточної операції дозволяє суттєво подрібнити феритне зерно, що підвищує пластичність та ударну в'язкість.

Термічне оброблення. Стандартне термічне оброблення сталі 15Х25Т – відпалювання за температури 730...780 °С з наступним охолодженням на повітрі або у воді. Сталь схильна до тріщиноутворення під час нагрівання і тому потребує повільного нагрівання до температури 500...600 °С.

Під час нагрівання в діапазоні 450...520 °С у сталі розвивається так звана 475-градусна крихкість. Під час остаточного оброблення деталей або напівфабрикатів потрібно уникати операцій, пов'язаних з нагріванням у цьому діапазоні температур. Якщо метал піддався окрихчуванню, то відновити його пластичність і ударну в'язкість можна короткотривалим (20...30 хв) нагріванням до 780...800 °С.

Якщо сталь 15Х25Т піддавалась високотемпературному нагріванню (понад 1100 °С), яке викликало схильність до МКК, то її можна усунути стандартним термічним обробленням, тобто відпалом за температури 740...760 °С з наступним охолодженням у воді або на повітрі.

Після зварювання листів великої товщини рекомендується проводити відпуск для зняття внутрішніх напружень і можливих негативних наслідків у разі переходу через діапазон 450...520 °С.

Механічні властивості прокату сталі 15Х25Т за температури 20 °С (не менше): $\sigma_b=430...470$ МПа, $\sigma_{0,2}=300$ МПа, $\delta=12...20$ %, $\psi=45$ %.

Фізико-механічні властивості сталі 15Х25Т наведено в табл. 10.9.

Металургійний прокат із сталі 15Х25Т випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 5949–75 (сортовий), ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 7350–77 (лист товстий), ГОСТ 9940–72 (труби гарячедеформовані), ГОСТ 9941–74 (труби холоднодеформовані).

Таблиця 10.9. Фізико-механічні властивості сталі 15X25Т

t , °C	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	Температурний діапазон, °C	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹	t , °C	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	Температурний діапазон, °C	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
20	2,04	—	—	600	1,4	50...600	11,5
100	2,0	50...150	9,5	700	1,24	50...700	11,6
200	1,97	50...200	10,0	800	1,19	50...800	11,8
300	1,89	50...300	10,6	900	1,09	50...900	12,2
400	1,76	50...400	10,8	1000	—	50...1000	12,2
500	1,64	50...500	11,3				

10.1.8. Сталь 15X28 (ЭИ 349)

Застосування. Сталь 15X28 використовують передусім як жаростійкий матеріал для роботи за температур до 1100 °C, у тому числі як заміник сталі 20X23Н18. Крім того сталь 15X28 може бути використана як корозійностійкий матеріал до 300...350 °C переважно в середовищах окисного характеру.

Застосування цієї сталі у зварних конструкціях обмежене мінімальною температурою експлуатації у 100 °C.

Під час нагрівання сталі 15X28 розвивається 475-градусна крихкість (діапазон 450...520 °C).

Жаростійкість і корозійна стійкість. Сталь 15X28 має досить високу жаростійкість у будь-яких газових середовищах (табл. 10.10). Із неї виготовляють деталі печей (піддони, опори подових труб, цементацийні ящики), які не піддаються дії високих або змінних механічних навантажень.

Сталь 15X28 має хорошу стійкість за високих температур в умовах дії сірководню та сірчистого ангідриду.

Таблиця 10.10. Жаростійкість сталі 15X28 за температури 1050 °C

Середовище	Час випробування, год	Швидкість окиснення, мм/рік
Спокійне повітря	1520	0,45
Потік повітря	100	0,70
Потік повітря та 1,5 % SO ₂	100	2,9
Продукти згоряння природного газу	1280	1,69

За загальною корозійною стійкістю в середовищах хімічних виробництв сталь 15X28 близька до сталі 15X25Т.

Випробування на МКК сталі 15X28 стандартом не передбачено.

Фізичні властивості. Густина $\rho = 7600$ кг/м³. Модуль пружності під час розтягування $E = 2 \cdot 10^5$ МПа. Коефіцієнт температурного відносного лінійного розширення $\alpha = 10 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹ у діапазоні 20...100 °C та $\alpha = 10,01 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹ у діапазоні 20...500 °C.

Зварювання. Зварність сталі задовільна. Застосовують ручне електродугове електродами типу ЭА-2 та аргонодугове зварювання. Зварювання бажано

виконувати з попереднім підігріванням до 150...300 °С. Використання зварних конструкцій із сталі 15Х28 через холодноламкість обмежене температурою експлуатації, не нижчою за 150 °С.

Технологічні властивості. Сталь 15Х28 має задовільну технологічність за гарячого пластичного деформування. Рекомендований діапазон температур за деформування: початок 950...1000 °С, завершення 750...800 °С. При цьому нагрівання до 850 °С має бути повільним. Заготованки після кування, штампування або прокатування охолоджують на повітрі. Сталь 15Х28 добре піддається гарячому та теплову випрямлянню та гнуттю.

Термічне оброблення. Для пом'якшення та утворення оптимальних властивостей сталь піддають відпалу за температури 750...800 °С з наступним охолодженням у воді або на повітрі.

Фізико-механічні властивості сталі 15Х25Т наведено в табл. 10.11.

Таблиця 10.11. Фізико-механічні властивості сталі 15Х28 за температури 1050 °С

t , °С	σ_b , МПа	δ , %	КСУ, Дж/м ²	t , °С	σ_b , МПа	δ , %	КСУ, Дж/м ²
200	500	25	210	900	20	153	160
400	500	17	190	1000	10	148	150
600	140	62	190	1100	10	138	130
700	80	48	180	1250	8	119	50
800	30	104	210				

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат із сталі 15Х28 випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 5583–74 (лист тонкий), ГОСТ 5949–75 (сортовий), ГОСТ 9940–74 (труби гарячедеформовані), ТУ 14-1-1019–74 (дріт холодногнтий).

10.1.9. Сталь 95Х18 (ЭИ 229)

Застосування. Сталь 95Х18 має високу твердість. Її використовують як корозійностійкий матеріал для виготовлення підшипників, втулок, ножів та інших деталей, які піддаються зношуванню.

Сталь не зварюється.

Фізичні властивості. Густина $\rho=7750$ кг/м³. Коефіцієнт теплопровідності $\lambda=24,3$ Вт/(м·К) за температури 20 °С. Коефіцієнт температурного відносного лінійного розширення $\alpha=11,8 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹ за температури 20...100 °С, $\alpha=12,3 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹ за температури 20...200 °С, $\alpha=12,7 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹ за температури 20...300 °С, $\alpha=13,1 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹ за температури 20...400 °С, $\alpha=13,4 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹ за температури 20...500 °С. Масова теплоємність $c=4860$ Дж/(кг·К) за температури 20...100 °С.

Технологічні параметри. Сталь деформується в гарячому стані з малими ступенями обтиснення; температурний діапазон деформування становить 1130...950 °С. Після деформування – повільне охолодження.

Термічне оброблення. Згідно з ГОСТ 5949–75 твердість сталі 95X18 у відпаленому стані – не більша за HB269, після загартування від 1000...1050 °С з охолодженням у маслі та відпуску за температури 200...300 °С з охолодженням на повітрі або в маслі – не менша ніж HRC55.

Термічне оброблення для пом'якшення – повне відпалювання за температури 885...920 °С протягом 1...2 год (HB95... HB99) або неповне відпалювання за температури 730...790 °С протягом 2...6 год (HRC22... HRC27)

Остаточне термічне оброблення – загартування від 1010...1065 °С у маслі або на повітрі та наступний відпуск на задану твердість.

Слід уникати відпуску за температури 450...600 °С, а також нагрівання в процесі загартування понад 1065 °С, аби уникнути зростання зерна, оскільки в обох випадках спостерігається зменшення ударної в'язкості.

Фізико-механічні властивості сталі 15X25T наведено в табл. 10.12.

Таблиця 10.12. Механічні властивості прутків зі сталі 95X18 за температури 20 °С залежно від рівня загартування

Термічне оброблення	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	Твердість HRC
Загартування від 1010...1065 °С у маслі або на повітрі	—	—	—	—	60...62
Загартування та відпуск за температури 150...380 °С	≥ 2000	≥ 1900	≥ 2	≥ 10	55...60
Неповне відпалювання за температури 730...790 °С протягом 2...6 год	≥ 800	≥ 770	≥ 12	≥ 25	22...27
Повне відпалювання за температури 885...920 °С протягом 1...2 год	≥ 770	≥ 420	≥ 15	≥ 30	HB 95...96

10.1.10. Сталь 01X25ТБЮ-ВИ (ЧС 76-ВИ)

Застосування. Сталь 01X25ТБЮ-ВИ використовують як корозійностійкий конструкційний матеріал для зварних апаратів виробництв каустичної соди, целюлози, хімічних волокон, мінеральних добрив та інших хімічно агресивних речовин.

Корозійна стійкість. Сталь 01X25ТБЮ-ВИ зберігає стійкість до МКК після провокуючого нагрівання до 1100 °С з витримуванням протягом 30 хв і охолодження на повітрі (спосіб випробування АМУ, ГОСТ 6032–89). Корозійну стійкість цієї сталі можна проілюструвати швидкістю її розчинення ($\nu_{\text{кор}}$, г/(м²·год) у деяких розчинах (за даними НДІхіммаш): сірчистий натрій – 0,02...0,2 за температури 130 °С, електрохімічні луги – 0,01 за температури 140 °С, рідкі комплексні

добрива – 0,002...1,8 за температур 95...320 °С, сульфат натрію – 0,14 за температури 170 °С, азотнофосфорний розчин – 0,0065 за температури 60 °С.

Фізичні властивості. Густина $\rho = 7660 \text{ кг/м}^3$, коефіцієнт температурного відносного лінійного розширення $\alpha = 9,5 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температур 50...150 °С, $\alpha = 10,8 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температур 50...400 °С, $\alpha = 11,6 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температур 50...700 °С, $\alpha = 12,2 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температур 50...1000 °С.

Зварювання. Сталь 01Х25ТБЮ-ВИ має задовільну зварність у листах товщиною до 10 мм. Зварювання виконують аргонодуговим способом з присадкою дроту аналогічного складу.

Технологічні параметри. Рекомендований температурний діапазон гарячого пластичного деформування: початок 1160 °С, завершення – не нижче від 850 °С. Температура початку прокатування зливків – 1040 °С, завершення – 850 °С. Температура початку прокатування заготованок на лист або сорт – 1060 °С, завершення – не нижче 750 °С.

Термічне оброблення. Оптимальне термічне оброблення зливків (слябів) і трубних заготованок – відпалювання за температур 750...780 °С, витримування з розрахунку 2,5 хв на 1 мм товщини, охолодження зі швидкістю 200 °С за год до 600 °С, а далі – на повітрі.

Оптимальне термічне оброблення листів: загартування від 950...900 °С у воді, витримування 2...3 хв на 1 мм товщини.

Фізико-механічні властивості сталі 01Х25ТБЮ-ВИ наведено в табл. 10.13 і 10.14.

Таблиця 10.13. Вплив термічного оброблення на механічні властивості листа зі сталі 01Х25ТБЮ-ВИ завтовшки 12 мм за температури 20 °С

Термічне оброблення	$\sigma_{\text{в}},$ МПа	$\sigma_{0,2},$ МПа	$\delta,$ %	$\psi,$ %	КСУ, Дж/м ²
Нагрівання до 800 °С, витримування 1 год, охолодження у воді	450	360	20	56	40
Нагрівання до 1000 °С, витримування 30 хв, охолодження у воді	465	355	23	56	15...20
Нагрівання до 1250 °С, витримування 30 хв, охолодження у воді	506	412	21	59	15...20

Таблиця 10.14. Механічні властивості сталі 01Х25ТБЮ-ВИ за температури 20 °С (не менше)

Напівфабрикати	Технічні умови	$\sigma_{\text{в}},$ МПа	$\sigma_{0,2},$ МПа	$\delta,$ %
Лист товстий	ТУ 14-1-3622-83	392	196	25
Стрічка	ТУ 14-1-3622-83	410	—	25
Трубна заготовка	ТУ 14-1-3547-83	392	392	196
Труби холоднодеформовані	ТУ 14-3-1275-83	392	196	25

Металургійний прокат із сталі 01Х25ТБЮ-ВИ випускається згідно з нормативними документами: ТУ 14-1-3547-83 (трубна заготовка),

ТУ 14-1-3622–83 (лист товстий), ТУ 14-1-3996–85 (дріт зварювальний), ТУ 14-3-1275–83 (труби холоднокатані).

10.2. Хромонікелеві сталі

У цьому розділі розглядаються властивості групи корозійностійких сталей, відомих у світовій практиці як сталі типу X18H10, які містять приблизно 18 % хрому та 10 % нікелю.

У ГОСТ 5632–72 сталі цієї групи подані марками 12X18H9T, 08X18H10T, 12X18H10T, 12X18H9, 17X18H9, 08X18H10T, 03X18H10T.

Основним елементом, що зумовлює високу корозійну стійкість сталей типу X18H10, є хром, здатний до пасивації. Уміст хрому в сталі 18 % робить сталь стійкою в багатьох окисного середовищах, у тому числі в азотній кислоті за різних концентрацій й температури.

Нікель дещо підвищує стійкість сталі з 18 % хрому активного стану. Легування нікелем, що становить 9...13 %, переводить сталь в аустенітний клас, що забезпечує високу технологічність і дає змогу використовувати сталі типу X18H10 як корозійностійкі, жаростійкі, жароміцні та кріостійкі матеріали.

Температурно-часовий чинник схильності до МКК сталей типу X18H10, загартованої від 1080 °С (метод АМ згідно з ГОСТ 6032–89, тривалість кип'ятіння в стандартному розчині протягом 24 год) передусім визначається вмістом вуглецю у твердому розчині. Підвищення вмісту вуглецю збільшує схильність сталі до МКК. За вмісту вуглецю 0,084 % сталь виявляється схильною до МКК уже за витримування в діапазоні 750...800 °С протягом 1 хв; за вмісту вуглецю 0,054 % мінімальний час появи схильності до МКК становить 10 хв, а за вмісту вуглецю 0,021 % – понад 100 хв.

Аналіз експериментальних даних показав, що потрібний ступінь стійкості сталі до МКК, який дозволяє виконувати зварювальні операції на досить великих товщинах поперечних перерізів, забезпечується вмістом вуглецю 0,021...0,054 %, і зазвичай на практиці він дорівнює 0,03 %. Необхідно брати до уваги, що зниження вмісту вуглецю навіть до рівня 0,012...0,006 % не забезпечує повної стійкості до МКК сталей типу X18H10 за температури 500...600 °С. Це небезпечно в разі тривалої експлуатації конструкцій за таких температур.

Для підвищення стійкості до МКК низьковуглецевих сталей типу X18H10 вводять стабілізатори (карбідоутворювачі) – титан і ніобій.

Здатність до пасивації забезпечує сталям типу X18H10 досить високу стійкість в азотній кислоті. Наприклад, сталі 12X18H10T, 12X18H12B, 02X18H11 мають перший (найвищий) бал стійкості в 65 %-й і 80 %-й азотній кислоті за температур відповідно 85 і 65 °С; у суміші азотної та сірчаної кислот (25 % HNO₃ і 70 % H₂SO₄) за температури 60 °С, у 40 %-й фосфорній кислоті за температури 100 °С.

Ці ж сталі мають перший бал стійкості в розчинах органічних кислот: у 70 %-й оцтовій за температури кипіння, у 50 %-й лимонній кислоті за температури кипіння, у 10 %-й мурашиній кислоті за температури 100 °С, а також у 25 %-му лузі КОН за температури кипіння та в 50 %-му лузі NaOH за температури 120 °С.

Сталь Х18Н10 характеризується високою стійкістю в атмосферних умовах та в промисловій, сільській, тропічній і морських атмосферах (в останньому випадку проявляється схильність до точкової корозії).

10.2.1. Сталі 12Х18Н9, 17Х18Н9

Застосування. Сталі 12Х18Н9, 17Х18Н9 використовують передусім у вигляді холоднокатаного листа або стрічки для тонкостінних конструкцій, які зварюють зазвичай контактним способом і можуть бути підданими після зварювання термічному обробленню.

У загартованому стані сталі 12Х18Н9, 17Х18Н9 за корозійною стійкістю близькі до сталі 12Х18Н10Т, але мають дещо вищу міцність.

Корозійна стійкість. Згідно з ГОСТ 4986–78, ГОСТ 5582–75, ГОСТ 5949–75, ГОСТ 7350–77, ГОСТ 9940–74, ГОСТ 9941–74, ГОСТ 18143–72, за якими випускається металопродукт із неіржавих сталей, сталь 12Х18Н9 має бути стійкою до МКК після випробувань методами АМ та АМУ (ГОСТ 6032–89) з тривалістю витримування в контрольному розчині 15 і 8 год відповідно. Сталі 12Х18Н8 випробовують на зразках у стані постачання відповідно до нормативно-технічної документації, але без провокуючого нагрівання. Сталь 12Х18Н9 стійка до окиснення у повітряному середовищі до 850 °С, а в атмосфері продуктів згоряння палива – до 750 °С. Сталь 17Х18Н9 у тих самих умовах стійка відповідно за температур до 800 і 750 °С.

Для сталі 17Х18Н9 випробування на стійкість до МКК ГОСТ 6032–89 не передбачені.

Фізичні властивості. Густина сталі 12Х18Н9 $\rho=7920$ кг/м³, сталі 17Х18Н9 $\rho=7850$ кг/м³. Масова теплоємність сталей $c=512$ Дж/(кг·К) за температури 50...100 °С, $c=638$ Дж/(кг·К) за температури 500...600 °С. Коефіцієнт теплопровідності для сталі 12Х18Н9 $\lambda=15,9$ Вт/(м·К) за температури 20 °С, $\lambda=16,3$ Вт/(м·К) за температури 100 °С, $\lambda=18,9$ Вт/(м·К) за температури 300 °С, $\lambda=23,9$ Вт/(м·К) за температури 600 °С, $\lambda=26,8$ Вт/(м·К) за температур 900 °С, а для сталі 17Х18Н9 $\lambda=17,6$ Вт/(м·К) за температури 20 °С, $\lambda=18,9$ Вт/(м·К) за температури 100 °С, $\lambda=21$ Вт/(м·К) за температури 300 °С, $\lambda=24,7$ Вт/(м·К) за температури 600 °С, $\lambda=28,1$ Вт/(м·К) за температури 900 °С. Коефіцієнт температурного відносного розширення $\alpha=16 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹ у діапазоні температур 20...100 °С, $\alpha=18,5 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹ у діапазоні температур 20...500 °С, $\alpha=19,5 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹ у діапазоні температур 20...1000 °С.

Механічні властивості сталі 12Х18Н9 залежно від температури наведено в табл. 10.15, а залежно від ступеня холодної пластичної деформації – у табл. 10.16.

Таблиця 10.15. Механічні властивості сталі 12Х18Н9 залежно від температури

t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
-196	1770	430	40	61	650	380	100	33	40
-183	1820	410	37	61	760	210	100	17	18
-70	1290	350	46	67	870	140	70	19	27
20	600	240	64	74					

Таблиця 10.16. Механічні властивості сталі 12Х18Н9 залежно від ступеня деформації

Ступінь обтиснення, %	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ступінь обтиснення, %	σ_B , МПа	σ_B , МПа	δ , %
0	830	500	67	40	1230	1140	21
10	950	650	45	50	1300	1220	18
20	1050	900	38	60	1350	1280	17
30	1150	1030	25	70	1400	1350	12

Примітка. Для інженерних розрахунків механічні властивості сталей 12Х18Н9, 17Х18Н9 потрібно визначати для конкретного металопрокату за відповідними нормативними документами, наведеними нижче.

Металургійний прокат із сталей 12Х18Н9, 17Х18Н9 випускається згідно з нормативними документами:

а) сталь 12Х18Н9 – ГОСТ 4986–79 (стрічка), ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 5949–75 (сорт), ГОСТ 7350–77 (лист товстий), ГОСТ 9940–81 (труби гарячедеформовані), ГОСТ 9941–81 (труби холодно- та теплодеформовані), ГОСТ 18143–72 (дріт), ТУ 1-14-377–74 (сорт), ТУ 14-1-1370–75 (стрічка та підкатка), ТУ 14-1-1406–75 (сорт), ТУ 1-1-1517–76 (стрічка), ТУ 14-1-1749–76 (ВД, лист товстий), ТУ 14-1-1750–76 (ВД, лист тонкий), ТУ 14-1-1966–77 (ВД, сорт), ТУ 14-1-2014–77 (стрічка та підкатка), ТУ 14-1-2186–77 (лист тонкий), ТУ 14-1-2349–78 (стрічка та підкатка), ТУ 14-1-2476–78 (ВД, ЭШ, лист тонкий), ТУ 14-1-2905–80 (лист тонкий), ТУ 14-1-3108–80 (ОИ, лист товстий), ТУ 14-1-3165–81 (стрічка, підкатка), ТУ 14-1-3166–81 (стрічка, підкатка), ТУ 14-1-3194–81 (ЭШ, ВД, стрічка, підкатка), ТУ 14-1-1319–81 (лист тонкий), ТУ 14-1-3386–82 (ОИ, стрічка, підкатка), ТУ 14-1-3504–82 (стрічка, підкатка), ТУ 14-1-13652–83 (стрічка, підкатка);

б) сталь 17Х18Н9 – ГОСТ 4986–79 (стрічка, підкатка), ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 5949–75 (сорт), ГОСТ 7350–77 (лист товстий), ТУ 14-1-377–74 (сорт), ТУ 14-1-1206–74 (лист тонкий), ТУ 14-1-1370–75 (стрічка, підкатка), ТУ 14-1-1940–76 (стрічка, підкатка), ТУ 14-1-2186–77

(лист тонкий), ТУ 14-1-2273–73 (сорт), ТУ 14-1-2696–79 (лист тонкий), ТУ 14-1-3249–81 (ЭШ, ВД, ВИ, стрічка, підкатка), ТУ 14-1-3301–82 (стрічка, підкатка).

10.2.2. Сталі 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т

Застосування. Сталі 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т використовують як корозійностійкі, жаростійкі, жароміцні матеріали. Сталь застосовують у сталевих конструкціях, які контактують з азотною кислотою та іншими окисними середовищами, з деякими органічними кислотами середніх концентрацій, з органічними розчинниками та в атмосферних умовах.

Із сталей 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т виготовляють посудини, теплообмінне та реакторне устаткування.

Сталі 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т використовують для зварних конструкцій у криогенній техніці для експлуатації за температури до мінус 269 °С.

Під час нагрівання сталі в діапазоні 500...600 °С виділяються карбіди. У діапазоні 500...600 °С основна фаза, що виділяється, – карбіди хрому, за температури 700 °С – карбіди хрому й титану, за температури 800 °С – карбіди титану.

Стабілізація сталей 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т титаном значно зменшує їх схильність до МКК. Так, за температур мінімальної стійкості (650 °С) МКК не виникає навіть після витримування протягом 20 год.

Корозійна стійкість. Згідно з ГОСТ 4980–78, ГОСТ 5582–84, ГОСТ 5949–75, ГОСТ 7350–77, ГОСТ 9940–74, ГОСТ 9941–74, ГОСТ 18143–72, за технічними вимогами яких випускається металопродукт, сталі 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т мають бути стійкими до МКК під час випробувань методами АМ, АМУ (ГОСТ 6032–89) з тривалістю витримування в контрольному розчині протягом 15 і 8 год відповідно (за винятком металопродукту із сталі 12Х18Н9Т згідно з ГОСТ 4986–78, ГОСТ 5582–75, ГОСТ 9940–74, ГОСТ 9941–74). Випробування проводять після провокуючого нагрівання за температури 650 °С протягом 1 год.

У разі безперервної експлуатації сталі стійкі до окиснення на повітрі та в атмосфері згоряння палива за температури 900 °С, а за експлуатації в умовах тепломін – до 800 °С.

Після випробувань протягом 100 год у повітряному середовищі за різних температур приріст маси G наведено в табл. 10.17.

Таблиця 10.17. Залежність приросту маси зразків зі сталей 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т від температури

$t, ^\circ\text{C}$	800	900	1000	1100
$G, \text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$	0,33	0,20	1,2	3,3...9,0

Сталі 12X18H10T, 12X18H9T мають досить високу жароміцність за температур 600...800 °С (рис. 10.3). За температури 650 °С і вище найкраща жароміцність спостерігається для великозернистих сталей, що забезпечується загартовуванням від температур 1040...1100 °С. За нижчих температур рекомендуються дрібнозернисті сталі.

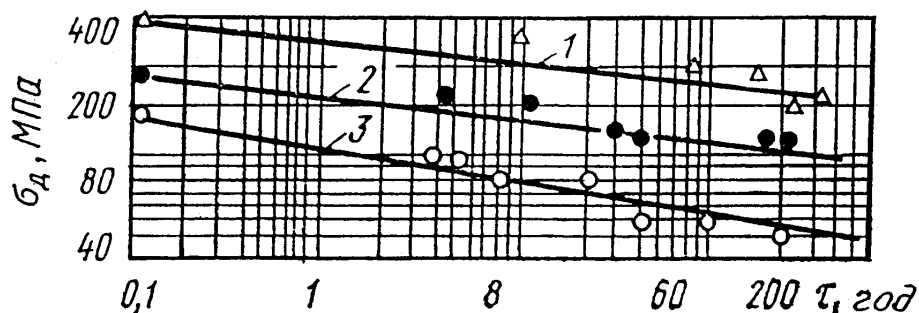


Рис. 10.3. Тривала міцність сталі 12X18H9T за температур 650 °С (1), 700 °С (2), 800 °С (3)

Зварювання. Сталі 12X18H10T, 12X18H9T добре зварюються всіма видами ручного та автоматичного процесів. Для автоматичного зварювання під флюсом з гранульованими металевими матеріалами рекомендується застосовувати зварювальний дріт марок Св-05Х20Н9ФБС і флюс АН-26, Св-07Х19Н10Б або Св-07Х18Н9ТЮ з флюсом АН-18, якщо зварні з'єднання експлуатуються до 350 °С без термічного оброблення. Якщо після зварювання конструкцію піддають стабілізуючому відпалу за температур 850...875 °С, то останній варіант зварювальних матеріалів можна використовувати для роботи зварних з'єднань в інтервалі температур 350...600 °С.

Прихвачування та ручне підварювання рекомендується виконувати електродами типу ЭА-15 (ГОСТ 10052-75) з присадкового дроту Св-05Х20Н9ФБС, Св-07Х18Н9ТЮ або Св-07Х19Н10Б.

Для звичайного автоматичного зварювання під шаром флюсу АН-26, АН-18 та аргонодугового зварювання використовують дріт Св-08Х19Н10Б, Св-04Х22Н10БТ, Св-05Х20Н9ФБС і Св-06Х21Н7БТ.

Для ручного зварювання застосовують електроди типу ЭА-1Ф2 марок ГЛ-2, ЦЛ-2Б2, ЭА606/1 із дроту Св-05Х19Н9Ф3С2, Св-08Х19Н9Ф2С і Св-05Х19Н9Ф3С2.

Дріт Св-08Х20Н9С2БЮ рекомендується для ручного та автоматичного зварювання в захисному газі. Крім того, для ручного електродугового зварювання можна використовувати електроди ЦЛ-11, ЦЛ-9 з матеріалом стрижня відповідно із дроту марок Св-07Х19Н10Б і Св-07Х25Н123. Обидва типи електродів забезпечують стійкість металу шва до МКК за допомогою контролю методами АМ, АМУ (ГОСТ 6032-89) без провокуючого нагрівання.

Зварні з'єднання, отримані електродами ЦЛ-9, ЦЛ11, мають відповідно такі механічні властивості: $\sigma_B = 600$ і 550 МПа, $\delta = 25$ і 22 %, $KCU = 70$ і 80 Дж/м².

Застосування наведених зварювальних матеріалів забезпечує високу корозійну стійкість до загальної корозії та МКК у 65 %-й азотній кислоті за температури 70...80 °С. Проте зварні з'єднання сталей 12Х18Н10Т і 12Х18Н9Т можуть виявити в цьому середовищі схильність до ножової корозії.

Технологічні параметри. Сталі 12Х18Н10Т і 12Х18Н9Т мають задовільну технологічність для гарячого пластичного деформування. Температурний діапазон оброблення сталей тиском становить 1180...850 °С. Швидкість нагрівання та охолодження не обмежується. У холодному стані обидві сталі допускають високі ступені пластичної деформації.

Термічне оброблення. У разі використання сталей 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т як корозійностійких матеріалів або в кріогенній техніці обидва матеріали загартовують від 1000...1070 °С у воді або на повітрі.

Для зняття напружень і підвищення стійкості зварних з'єднань, окрім загартування, зварні конструкції піддають стабілізувальному відпалу за температури 850...900 °С.

Фізико-механічні властивості сталей 12Х18Н9Т і 12Х18Н10Т наведено в табл. 10.18.

Таблиця 10.18. Механічні властивості сталей 12Х18Н9Т і 12Х18Н10Т

t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/м ²
-253	1790	600	25	—	120
-196	1610	460	38	56	200
-70	1130	360	40	64	250
20	620	280	41	63	250
3200	460	200	31	65	—
400	450	180	31	65	—
500	450	180	29	65	—
600	400	180	25	61	—
700	280	160	26	59	—
800	180	100	35	59	—

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат із сталей 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 4986–79 (стрічка м'яка), ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 7350–77 (лист товстий), ГОСТ 9940–81 (труби гарячедеформовані), ГОСТ 9941–81 (труби холодно- і теплодеформовані), ГОСТ 18143–72 (дріт).

10.2.3. Сталь 08X18H10T (ЭИ914)

Сталь 08X18H10T за структурою, технологічними властивостями, експлуатаційними і технологічними характеристиками близька до сталей 12X18H10T, 12X18H9T. Від цих марок вона відрізняється дещо кращою стійкістю зварних з'єднань до ножової корозії та МКК.

За автоматичного зварювання під флюсами сталі 08X18H10T зазвичай використовують ті самі матеріали, що й для сталей 12X18H10T і 12X18H9T.

Для ручного електродугового зварювання рекомендуються електроди ОЗЛ-14А, ОЗЛ-36, ОЗЛ-17 із дроту Св-01Х19Н9, Св-02Х19Н9. Зварювання електродом ОЗЛ-14А та ОЗЛ-36 забезпечує стійкість металу шва до МКК під час випробувань методами АМ та АМУ (ГОСТ 6032–89) з провокуючим нагріванням за температури 650 °С протягом 1 год, а зварювання електродом ОЗЛ-17 – стійкість до МКК методами АМ, АМУ без провокуючого нагрівання.

Металургійний прокат із сталі 08X18H10T випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 4986–70 (стрічка м'яка) ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 5949–75 (сорт), ГОСТ 7350–77 (лист товстий), ГОСТ 9940–81 (труби гарячедеформовні), ГОСТ 9941–81 (труби холодно- та теплодеформовані), ТУ 14-1-394–74 (лист товстий), ТУ 14-1-1546–75 (лист товстий), ТУ 14-1-2542–78 (лист товстий), ТУ 14-1-2787–79 (сорт), ТУ 14-1-3199–81 (лист тонкий), ТУ 14-1-3485–82 (лист тонкий), ТУ 14-5564–83 (стрічка м'яка), ТУ 14-1-3874–84 (лист тонкий).

10.2.4. Сталь 08X18H12Б (ЭИ 402)

Застосування. Сталь 08X18H12Б використовують як корозійностійкий, жаростійкий та жароміцний матеріал. Основне призначення цієї сталі – для виготовлення зварних хімічних апаратів, які контактують з азотною кислотою. Сталь 08X18H12Б має вищу стійкість до ножової корозії порівняно зі сталями 12X18H10T, 12X18H9T, стабілізованими титаном.

Корозійна стійкість. Сталь 08X18H12Б має бути стійкою до МКК після випробувань методами АМ та АМУ (ГОСТ 6032–89) за тривалості витримування в контрольному розчині 24 і 8 год відповідно. Випробування виконують після провокуючого нагрівання за температури 650 °С протягом 1 год.

Сталь 08X18H12Б має корозійну стійкість до ножової корозії та до окиснення на повітрі до 900 °С.

Фізичні властивості. Густина $\rho = 7900 \text{ кг/м}^3$. Коефіцієнт теплопровідності λ [Вт/(м·К)] становить 15,9 за температури 100 °С, 19,3 за температури 300 °С, 23,1 за температури 600 °С, 26,4 за температури 800 °С. Масова теплоємність $c = 504 \text{ Дж/(кг·К)}$ за температури 20...100 °С. Коефіцієнт температурного відносного лінійного розширення $\alpha \cdot 10^6, \text{ К}^{-1}$ дорівнює 16,7 за температури 20...100 °С, 17,1 за температури 20...300 °С, 18,8 за температури 20...600 °С, 19,9 за температури 20...800 °С.

Зварювання. Для ручного електродугового зварювання сталі 08X18H12Б зазвичай використовують електроди ЦЛ-11 із дроту Св-07Х19Н10Б або ОЗЛ-7 із дротів Св-01Х19Н9 і Св-02Х19Н9. Обидва типи електродів забезпечують високу стійкість зварного з'єднання до МКК. У разі зварювання обома електродами зварне з'єднання має такі механічні властивості (не менше): $\sigma_B=550$ МПа, $\delta=22$ %, КСУ=80 Дж/м².

Для роботи зварного з'єднання в умовах підвищених температур (до 750 °С), наприклад у нафтопереробній промисловості, застосовують електроди Л-39 із дроту Св-04Х19Н9 і Св-06Х19Н9Т. Для роботи до 600 °С з одночасною присутністю агресивних середовищ застосовують електроди Л40-М із дроту Св-02Х19Н9 і Св-04Х19Н9.

Автоматичне зварювання під флюсом виконують з присадковими дротами марок Св-08Х19Н10Б (ЭИ897) і Св-07Х21Н9ФС (ЭИ 649).

Технологічні параметри. Сталь 08Х18Н12Б має задовільну технологічність для гарячого оброблення тиском. Прокатування зливків сталі 08Х18Н12Б проводять зазвичай у діапазоні 1200...900 °С. Для плавок з підвищеним умістом ніобію рекомендовано знижувати температуру початку деформування до 1150 °С. Температурний діапазон гарячого деформування становить 1160...900 °С. Заготовки великих перерізів потрібно нагрівати повільно до 850 °С і після нагрівання повільно охолоджувати. Сталь 08Х18Н12Б має задовільну технологічність для холодного пластичного деформування в загартованому стані.

Термічне оброблення. Для зняття наклепу та отримання оптимального сполучення механічних і корозійностійких властивостей рекомендоване загартування від 970...1070 °С з охолодженням у воді або на повітрі.

Фізико-механічні властивості сталі 08Х18Н12Б наведено в табл. 10.19.

Таблиця 10.19. Механічні властивості сталі 08Х18Н12Б залежно від температури

$t_{\text{вип}},$ °С	$\sigma_B,$ МПа	$\sigma_{0,2},$ МПа	$\delta,$ %	$\psi,$ %	КСУ, Дж/м ²
Лист					
-253	1610	450	40	—	80
-196	1370	350	42	—	110...140
Сортамент					
-70	980	310	53	—	100...140
-20	640	290	46	63	150
540	410	190	45	65	—
650	350	180	44	67	—
700	290	170	32	74	—
760	260	—	23	40	—
815	230	—	22	46	—
870	180	—	25	39	—

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат із сталі 08X18H12Б випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 5949–75 (сортмент), ГОСТ 7350–77 (лист товстий), ГОСТ 9940–81 (труби гарячедеформовані), ГОСТ 9941 (труби холодно- і теплодеформовані), ТУ 14-1-416–74 (трубна заготовка), ТУ 14-1-565–84 (трубна заготовка), ТУ 14-1-783–73 (трубна заготовка), ТУ 14-1-790–73 (трубна заготовка), ТУ 14-1-2559–78 (трубна заготовка), ТУ 14-1-2583–78 (трубна заготовка).

10.2.5. Сталь 03X18H11

Застосування. Сталь 03X18H11 використовують у хімічному апаратобудуванні для зварних посудин і трубопроводів, що експлуатуються в контакті з азотною кислотою та аміачною селітрою.

Корозійна стійкість. Згідно з ТУ 14-1-490–74, ТУ 14-1-2144–77, ТУ 24-3-15-873–75 швидкість корозії сталі не більша за 0,5 мм/рік під час випробувань методом ДУ ГОСТ 6032–89 на зразках, вирізаних із листа в стані постачання (загартування від 1100 °С у воді) та додаткового провокуючого нагрівання за температури 650 °С з витримуванням протягом 1 год. Сталь добре зарекомендувала себе в контактах з азотною кислотою (до 70 %-ї концентрації) за температури кипіння, з аміачною селітрою, адипіновою кислотою. Сталь 03X18H11 також стійка у 45...80 %-й азотній кислоті за температури 80...140 °С, а також у середовищах з нітрозними газами за температур понад 80 °С.

Зварювання. Сталь 03X18H11 добре зварюється всіма видами ручного та автоматичного зварювання. Для ручного електродугового зварювання застосовують електроди марки ОЗЛ-2 із дроту Св-03Х17. Для автоматичного зварювання під флюсом або в захисних газах використовують дріт тієї самої марки. При цьому міцність і корозійна стійкість зварних з'єднань не нижчі за міцність і корозійну стійкість основного металу.

Рекомендований температурний діапазон експлуатації зварних з'єднань від мінус 196 до 450 °С.

На відміну від сталей 08X18H10Т зварні з'єднання сталі 03X18H11 не піддаються ножовій корозії в окисних середовищах.

Технологічні параметри. Температурний діапазон гарячого пластичного деформування сталі 03X18H11 становить 1100...900 °С; температура нагрівання зливків під прокатування 1240...1260 °С. Сталь 03X18H11 має задовільну технологічність під час гарячого й холодного пластичного деформування. Оброблюваність різанням – на рівні сталі Х18Н10Т.

Термічне оброблення. Зварні з'єднання сталі 03X18H11 можна піддавати відпалу, не побоюючись появи схильності до МКК.

Для зняття наклепу після гарячого або холодного деформування застосовують пом'якшувальне термічне оброблення – загартування від 1100 °С у воді.

Механічні властивості сталі 03X18H11 наведено в табл. 10.20.

Металургійний прокат із сталі 03X18H11 випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ТУ 14-1-490–74 (лист товстий), ТУ 14-1-1160–74 (сорт), ТУ 14-1-1180–74 (лист тонкий), ТУ 14-1-2144–77 (лист товстий), ТУ 14-1-3071–80 (лист товстий), ТУ 14-1-3386–82 (стрічка й підкатка), ТУ 14-1-3652–83 (стрічка та підкатка), ТУ 24-3-15-873–85 (лист товстий).

Таблиця 10.20. Механічні властивості сталі 03X18H11 залежно від температури

t , °C	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
20	550	280	55	73
150	440	240	40	69
200	420	260	40	73
300	390	260	36	70
400	370	190	35	67
450	370	220	33	67

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даним нормативних документів, наведених нижче.

10.3. Хромомарганцеві та хромомарганцевонікелеві аустенітні сталі

У сталях марганець поводить себе як аустенітоутворювальний елемент, що стало підставою для створення досить великої кількості сталей аустенітного класу, у яких марганець відіграє роль замітника нікелю. Проте у зв'язку зі слабкішим аустенітоутворювальним впливом марганцю досягти в сталях, легированих 12...14 % хрому й більше, чистої аустенітної структури в діапазоні від кімнатної до температури гарячої пластичної деформації не вдається. Тому аустенітні сталі на хромомарганцевій основі містять у своєму складі додатково або нікель, або азот, а частіше обидва елементи разом. Рівень додаткового легування нікелем та азотом зростає з підвищенням умісту хрому в сталі.

Марганець належить до елементів, не схильних до пасивації, тому швидкість корозії хромонікелевих сталей в окисних середовищах передусім визначається вмістом у них хрому та окисними властивостями середовища.

Стійкість сталей в азотній кислоті зменшується з підвищенням умісту марганцю. Однак задовільна корозійна стійкість хромомарганцевих сталей зберігається під час легування марганцем до 13...14 %.

Зварні з'єднання сталей з 14 % хрому (типу 10X14Г24Н4Т) стійкі до загальної й ножової корозії в 45 %-й азотній кислоті до 100 °C, а в 60 %-й – до 60 °C.

Стабільна хромомарганцева аустенітна сталь типу X18АГ14 (0,24 % N) відрізняється великою схильністю до наклепу порівняно з хромонікелевою аустенітною сталлю X18АН10. Так, у разі близької для обох сталей границі міцності в

загартованому стані після пластичної деформації у 20 % різниця між обома сталями за цією характеристикою становить приблизно 300 МПа, а за наклепу в 60 % – близько 500 МПа. Ці властивості хромомарганцевих сталей потрібно враховувати під час операцій, пов'язаних з холодною пластичною деформацією.

Термічне оброблення аустенітних хромомарганцевих сталей з додатковим легуванням азотом або нікелем полягає в загартуванні від 1000...1080 °С у воді або на повітрі (для стабілізованих титаном або ніобієм сталей). Нагрівання проводять для повної рекристалізації сталі після попереднього напівгарячого або холодного наклепу, а також для повного розчинення карбідів хрому, якщо вони є в структурі. Внаслідок досить швидкого охолодження від температури загартування фіксується стан гомогенного твердого розчину, що забезпечує оптимальне сполучення експлуатаційних властивостей.

Термічне оброблення корозійностійких аустенітних сталей на основі системи Cr – Mn принципово не відрізняється від термічного оброблення хромонікелевих аустенітних сталей.

10.3.1. Сталь 10X14ГН4Т (ЭИ 711)

Застосування. Сталь 10X14Г14Н4Т призначена для виготовлення різноманітного зварного устаткування, що контактує з середовищами хімічних виробництв слабкої агресивності, кріогенної техніки до температури мінус 253 °С. Її також використовують як жаростійкий і жароміцний матеріал до температури 700 °С, а також рекомендують як замітник сталей 12X18Н9Т, 08X18Н10Т і 12X18Н10Т.

Корозійна стійкість. Під час постачання сталі згідно з ГОСТ 5582–84, ГОСТ 7350–77, ГОСТ 5949–75 контроль стійкості до МКК виконують методами АМ та АМУ (ГОСТ 6032–89) з тривалістю витримування в контрольному розчині 15 і 18 год відповідно. Випробування проводять після провокуючого нагрівання за температури 650 °С протягом 1 год з охолодженням на повітрі. Сталь 10X14Г14НТ має перший бал корозійної стійкості в кислотах малих концентрацій за невисоких температурах (5...10 %-ва азотна кислота до 80 °С, 58...65 %-ва азотна кислота за температури 20 °С, 10 %-а оцтова кислота до 80 °С, 10 %-ва фосфорна кислота за температури до 80 °С), у мийних засобах, водогінній воді та інших середовищах.

Сталь 10X14Г14Н4Т використовують для виготовлення корпусів та інших деталей великогабаритного зварного устаткування виробництв скрапленого газу та інших об'єктів кріогенної техніки (до мінус 253 °С), а також рекомендують для киснепроводів особливо чистого кисню високого тиску на металургійних заводах.

Сталь 10X14Г14Н4Т застосовують для виготовлення термічних печей та інших виробів, що експлуатуються за температури до 700 °С замість сталі типу X18Н9Т.

Жаростійкість сталі 10X14Г14Н4Т дещо нижча, ніж сталі 12X18Н9Т, але цілком прийнятна для деталей досить високого поперечного перерізу. Втрата металу за рік за температури 700 °С становить 0,1 мм товщини, а за температури 800 °С – уже 0,35 мм.

Фізичні властивості. Густина $\rho=7800 \text{ кг/м}^3$. Магнітне насичення μ за температури 20 °С у полі 500 Е становить $1,04 \cdot 10^{-4} \text{ Тл} \cdot \text{м}^2/\text{А}$. Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м·К), дорівнює 3,36 за температури мінус 253 °С; 12,6 за температури мінус 50 °С; 16,9 за температури 20 °С; 18 за температури 100 °С; 16,8 за температури 300 °С; 23,9 за температури 600 °С. Коефіцієнт температурного відносного лінійного розширення $\alpha \cdot 10^6$, К⁻¹, дорівнює 8,8 за температури від мінус 253 до 20 °С; 14,3 за температури від мінус 50 до 200 °С; 16 за температури 20...100 °С; 17 за температури 20...300 °С; 19,3 за температури 20...600 °С.

Зварювання. Сталь 10X14Г14Н4Т добре зварюється всіма видами зварювання, можливе зварювання зі сталями типу Х18Н10Т, з вуглецевою сталлю марки Ст3. Для ручного електродугового зварювання застосовують електроди марки ПЛ-1. У разі автоматичного зварювання використовують флюс АН-26. Як присадковий матеріал за ручного та автоматичного зварювання, в тому числі в середовищі захисних газів (аргону, СО₂), застосовують дріт із сталей 12X18Н9, 10X14Г14Н4Т.

Технологічні параметри. Сталь добре деформується в холодному та гарячому станах. Оптимальна температура гарячого пластичного деформування під час кування, штампування та прокатування становить 1150...850 °С. Сталь добре піддається обробленню різанням.

Термічне оброблення. Сталь 10X14Г14Н4Т загартовують від температури 1050...1080 °С у воді або на повітрі.

Механічні властивості сталі 10X14Г14Н4Т наведено в табл. 10.21.

Таблиця 10.21. Механічні властивості сталі 10X14Г14Н4Т залежно від температури

t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/м ²	$E \cdot 10^{-5}$, МПа
-253	960	450	10	—	100	2,25
-196	1300	370	28...45	24...40	200	2,2
-70	940	330	43...49	68...71	280	2,1
20	730	270	52	72	250	2,13
400	460	130	53	67	—	1,74
500	390	110	38	63	—	1,65
600	270	90	39	62	—	1,56
700	220	80	48	63	—	1,47

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат із сталі 10X14Г14Н4Т випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 5949–75 (сорт), ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 7350–77 (лист товстий), ТУ 14-1-69–71 (лист товстий), ТУ 14-1-648–73 (лист тонкий), ТУ 14-3-59–74 (труби гаряче- і холоднокатані).

10.3.2. Сталь 10X14АГ15 (ДИ 13)

Застосування. Аустенітна сталь 10X14АГ15 рекомендована для виготовлення хімічного та харчового устаткування, баків пральних машин, деталей побутових приладів, а також як немагнітний матеріал, що експлуатується в слабоагресивних середовищах. Її використовують як заміник сталей Х18Н9, Х18Н10, Х18Н9Т, Х18Н10Т переважно у вигляді тонкого листа у зварних з'єднаннях, а також для незварних виробів з великими поперечними перерізами.

Корозійна стійкість. Згідно з ГОСТ 5582–74 і ТУ 14-134-120–76 сталь 10X14АГ15 потрібно випробувати на стійкість до МКК методами АМ та АМУ (ГОСТ 6032–89) у загартованому стані. Ця сталь має корозійну стійкість першого бала в контакт з харчовими продуктами, мийними засобами, в атмосферних умовах (окрім морської атмосфери).

Для забезпечення найвищої корозійної стійкості виробів із сталі 10X14АГ15 необхідно прагнути високої якості оздоблення поверхні.

Фізичні властивості. Густина $\rho = 7900 \text{ кг/м}^3$. Модуль пружності під час розтягування $E = 2,05 \cdot 10^5$ і $1,79 \cdot 10^5$ МПа за температури 200 і 400 °С відповідно. Коефіцієнт температурного відносного лінійного розширення $\alpha \cdot 10^6, \text{ К}^{-1}$, 13,85 за температури 20...100 °С; 19,4 за температури 20... 400 °С; 21,8 за температури 20...600 °С; 22,5 за температури 20...800 °С.

Зварювання. Сталь 10X14Г14Н4Т має хорошу зварність. Рекомендовано для ручного електродугового зварювання стандартні електроди, що призначаються для сталей типу Х18Н10. Сталь добре зварюється в середовищі захисних газів як без присадки, так і з присадковим дротом основного складу сталі 10X14Г14Н4Т і складу сталі типу Х18Н9(Н10). Контактне зварювання не викликає ускладнень, але неприпустиме контактне зварювання з низьколегованою або вуглецевою сталлю через утворення крихких структур в ядрі точки.

Для зварювання однорідних з'єднань рекомендуються режими з малим тепловиділенням, щоб зменшити можливість виникнення МКК.

Додаткового термічного оброблення зварні з'єднання не потребують.

Технологічні параметри. Температурний діапазон гарячого пластичного деформування становить 1160...850 °С. Сталь також добре піддається холодному пластичному деформуванню під час гнуття та штампування.

Термічне оброблення. Для надання найвищих властивостей після пластичного деформування та найвищої корозійної стійкості сталь загартовують від 1000...1050 °С у воді. Таке саме термічне оброблення застосовують для зняття наклепу після холодного або гарячого пластичного деформування.

Механічні властивості сталі 10X14AГ15 наведено в табл. 10.22.

Металургійний прокат зі сталі 10X14Г14Н4Т випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ТУ 14-1-1309–75 (лист тонкий), ТУ 14-1-1440–75 (стрічка), ТУ 14-1-1604–76 (лист товстий), ТУ 14-134-120–76 (лист товстий).

Таблиця 10.22. Механічні властивості сталі 10X14AГ15 залежно від температури

t , °C	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/м ²
–196	1300	700	8	10	40
800	206	96	44	46	50...70
900	125	75	57	57	80...110
1000	61	43	64	56	90...120
1100	44	33	82	61	120...130
1150	29	20	64	58	130...140
1200	20	10	64	59	170...190

Примітки: 1. Властивості залежать від металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

10.3.3. Сталь 10X13Г18Д (ДИ 61)

Застосування. Сталь 10X13Г18Д використовують як корозійностійкий матеріал для виготовлення товарів широкого вжитку, зокрема столових приладів, посуду, холодильників, пральних машин, медичне устаткування, устаткування для приготування їжі, пластинчастих теплообмінників та інших металовиробів, що контактують зі слабоагресивними середовищами. Сталь розрахована на виготовлення виробів методами холодного штампування та глибокої витягування. За технологічними параметрами вона перевищує аустенітні сталі 10X14Г14Н4Т, 10X14AГ15, не поступаючись сталям типу X18H10T.

Корозійна стійкість. Сталь 10X13Г18Д має перший бал стійкості в контакті з харчовими продуктами, мийними засобами та в атмосферних умовах (окрім морської атмосфери).

Для забезпечення більш високої корозійної стійкості виробів із сталі 10X13Г18Д необхідно досягати високих ступенів оздоблювального оброблення поверхонь, які контактують з робочими середовищами.

Фізичні властивості. Густина $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$. Коефіцієнт температурного відносного лінійного розширення $\alpha = (16,9...22,2) \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ залежно від температури.

Зварювання. Зварність сталі 10X13Г18Д задовільна за всіх способів зварювання: дугового, контактнo-роликового та точкового. Як присадковий матеріал в автоматичному режимі використовують дріт із такої ж самої сталі, а також сталей марок 08X18H10, 08X18H10T і в ручному режимі – електроди марки ЦЛ-11.

Технологічні параметри. Сталь має задовільну технологічність для всіх операцій, пов'язаних з холодним деформуванням (гнуттям, штампуванням, витягуванням тощо), задовільно піддається шліфуванню та поліруванню.

Термічне оброблення. Після зварювання для захисту від МКК і після гарячого або холодного пластичного деформування для зняття наклепу вироби або заготовки загартовують від 1000...1050 °С у воді.

Механічні властивості сталі 10X13Г18Д наведено в табл. 10.23.

Таблиця 10.23. Механічні властивості сталі 10X13Г18Д залежно від температури

t , °С	σ_B МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/м ²
20	620	270	75	72	2,09
100	510	190	75	75	2,04
200	460	160	52	75	1,97
300	460	140	49	70	1,89
400	440	136	53	67	--
500	400	120	45	66	--
600	310	120	29	27	--
700	210	160	18	22	--
800	140	90	21	17	1,37
900	80	70	21	25	--
1000	50	40	37	31	--
1100	30	20	49	44	--
1150	25	20	52	58	--
1200	20	15	52	58	--

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат із сталі 10X13Г18Д випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ТУ 14-1-3848–84 (холоднокатаний лист).

10.3.4. Сталь 20X13Н4Г9 (ЭИ 100)

Застосування. Сталь 20X13Н4Г9 використовують як конструкційний матеріал, що має корозійну стійкість в атмосферних умовах, а також стійкість проти окиснення в атмосфері повітря за температур до 800 °С.

Корозійна стійкість. Згідно з вимогами ГОСТ 4986–78, ГОСТ 5582–75 і ГОСТ 5949–75 сталь 20X13Н4Г9 контролюють на стійкість до МКК методом А або АМ (ГОСТ 6032–89). Сталь не рекомендовано використовувати в агресивних середовищах за температури понад 450 °С у зв'язку з її схильністю до МКК.

Фізичні властивості. Густина $\rho = 8500 \text{ кг/м}^3$. Модуль пружності під час розтягування за температури 20 °С $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, масова теплоємність $c = 495 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$.

Зварювання. Сталь 20Х13Н4Г9 зварюється точковим або роликовим контактним зварюванням. Після інших видів зварювання обов'язкове термічне оброблення зварних швів.

Технологічні параметри. Температурний діапазон гарячої пластичної деформації становить 1180...850 °С. Сталь також деформується в холодному стані.

Термічне оброблення. Сталь піддається загартуванню від 1120...1150 °С з охолодженням у воді.

Механічні властивості сталі 20Х13Н4Г9 наведено в табл. 10.24.

Таблиця 10.24. Механічні властивості сталі 20Х13Н4Г9 залежно від температури

t , °С	σ_B , МПа	δ , %	$t_{\text{вип}}$, °С	σ_B , °С	δ , %
20	700	73	800	200	50
600	430	44	900	100	—
700	290	47	—	—	—

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 4986–78 (стрічка та підкатка), ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 5949–75 (сорт, стрічка), ТУ 14-1-377–74 (сорт, стрічка), ТУ 14-1-2186–77 (лист тонкий), ТУ 14-1-2273–77 (сорт).

10.3.5. Сталь 12Х17Г9А (ЭИ 878)

Застосування. Сталь 12Х17Г9АН4 використовують для виробів, які тривалий час експлуатуються в атмосферних умовах, у тому числі і за підвищених температур (до 400 °С). Сталь піддається зварюванню. У зварних конструкціях, які неможливо піддати термічному обробленню, цю сталь застосовують лише в місцях тонких перерізів. У випадку, коли термічне оброблення зварних конструкцій технологічно можливе, допустиме зварювання великих товщин.

Корозійна стійкість. Згідно з ГОСТ 7350–77, ГОСТ 5582–84, ГОСТ 5949–75, ГОСТ 4986–78 сталь 12Х17Г9АН4 має витримувати випробування на стійкість до МКК методами АМ, АМУ (ГОСТ 6032–84) з тривалістю оброблення в контрольному розчині протягом 15 і 18 год відповідно. Випробування сталі на стійкість до МКК проводять після загартування без провокуючого нагрівання.

Фізичні властивості. Густина $\rho=7860$ кг/м³. Сталь немагнітна у загартованому стані. Теплофізичні характеристики сталі (коефіцієнт теплопровідності λ , масова теплоємність c і коефіцієнт температурного відносного лінійного розширення α) наведено в табл. 10.25.

Зварювання. Сталь зварюється всіма видами зварювання.

Технологічні параметри. Сталь 12Х17Г9АН4 добре деформується в хо-

лодному та гарячому станах. Діапазон температур гарячого пластичного деформування під час кування, штампування, гнуття та інших видів 1160...850 °С з охолодженням на повітрі.

Термічне оброблення. Загартування від 1050...1100 °С у воді, зокрема деталей з тонкими стінками.

Таблиця 10.25. Теплофізичні властивості сталі 12Х17Г9АН4 залежно від температури

t , °С	λ , Вт/(м·К)	c , Дж/(кг·К)	Температурний діапазон, °С	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
20	15,1	—	20...100	--
100	15,9	362	100...200	15,9
200	17,6	504	200...300	17,3
300	18,9	525	300...400	18,7
400	20,1	546	400...500	20,2
500	21,0	567	500...600	21,2
600	22,2	588		
700	23,5	609		
800	24,3	630		

Фізико-механічні властивості сталі 12Х17Г9АН4 залежно від температури наведено в табл. 10.26.

Таблиця 10.26. Фізико-механічні властивості сталі 12Х17Г9АН4 залежно від температури

t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/м ²	$E \cdot 10^{-5}$, МПа
-196	1300	840	23	21	180	—
-70	1110	590	55	67	320	—
20	750	390	46	68	340	2,0
300	780	370	68	—	—	1,7
400	600	230	39	—	—	—
500	520	190	44	—	—	—
600	420	180	37	—	—	1,49
700	230	130	40	—	—	—

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат із сталі 12Х17Г9АН4 випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 4986–78, ГОСТ 5949–75, ГОСТ 5582–75, ГОСТ 7350–77, ТУ 14-1-2410–78.

10.3.6. Сталь 07Х21Г7АН5 (ЭП 222)

Застосування. Сталь 07Х21Г7АН5 застосовують як корозійностійкий матеріал підвищеної міцності для незварних, зварних і паяних конструкцій, що експлуатуються за температур від 400 до мінус 253 °С.

Із сталі 07X21Г7АН5 виготовляють шпинделі, ланцюги, підвіски для кисневих установок, тонкостінні суцільні, зварні та паяні конструкції.

Виділення карбідної фази в цій сталі по границях кристалічних зерен найбільш активно відбувається за температури 700 °С. Після витримування лише протягом 5 хв за цієї температури в структурі сталі спостерігається карбідна сітка, поява якої супроводжується зниженням ударної в'язкості, появою схильності до МКК. Схильність сталі 07X21ГАН5 до окрихчення та МКК суттєво залежить від умісту вуглецю. якщо вміст вуглецю в сталі до 0,03 % схильності до обох видів дефектів у межах температурночасових режимів, які зазвичай застосовують під час технологічних операцій, майже немає.

Корозійна стійкість. Згідно з ГОСТ 5949–75, ТУ 14-1-1141–74 сталь 07X21Г7АН5 має бути стійкою до МКК після випробування методами АМ, АМУ (ГОСТ 6032–84), якщо тривалість оброблення в контрольному розчині становить 15 і 8 год відповідно. Сталь контролюють на стійкість до МКК у загартованому стані без провокуючого нагрівання.

Фізичні властивості. Густина $\rho=7700 \text{ кг/м}^3$. Коефіцієнти теплопровідності λ і температурного відносного лінійного розширення α наведені в табл. 10.27.

Таблиця 10.27. Теплофізичні властивості сталі 07X21Г7АН5 залежно від температури

t , °С	λ , Вт/(м·К)	Температурний діапазон, °С,	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹	t , °С	λ , Вт/(м·К)	Температурний діапазон, °С	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
-253	25,2	-253...20	9,3	400	21,0	20...300	16,8
-196	8,8	-196...20	11,5	500	23,1	20...400	17,3
20	15,5	-100...20	14,6	600	24,4	20...500	18,0
100	16,3	-50...20	15,1	700	26,3	20...600	18,4
200	16,8	20...100	15,7	800	28,8	20...700	18,5
300	19,7	20...2000	16,0				

Зварювання. Сталь 07X21Г7АН5 задовільно зварюється автоматичним електродуговим способом під шаром флюсу АН-26, а також ручним електродуговим способом електродами з покриттям УОНИ-14. Як присадковий матеріал застосовують дріт Св-08Х20Н10ГБ. Крім того, сталь задовільно зварюється аргонодуговим способом і в середовищі вуглецевокислого газу. Якщо зварюють вироби з листів малих товщин (до 4...6 мм), зварні з'єднання не піддають термічному обробленню. Потребу в термічному обробленні заготовок і виробів із листів великих товщин визначається вимогами до фізико-механічних властивостей і стійкості до МКК, які ставляться до зварного з'єднання.

Сталь 07X21Г7АН5 технологічна в умовах паяння поверхнево-активними припоями.

Технологічні параметри. Сталь 07X21Г7АН5 має задовільну технологічність для гарячого оброблення тиском, оптимальна температура якої 1120...850 °С.

Термічне оброблення. Остаточним термічним обробленням є загартування від 1000...1050 °С у воді. Цей процес дозволяє повністю перевести у твердий розчин карбіди хрому, які змогли виділитися внаслідок попереднього оброблення, а також зняти наклеп після гарячої та холодної пластичної деформації.

Фізико-механічні властивості сталі 07X21Г7АН5 залежно від температури наведено в табл. 10.28.

Таблиця 10.28. Фізико-механічні властивості сталі 07X21Г7АН5 залежно від температури

t , °С	σ_B МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/м ²	$E \cdot 10^{-5}$, МПа
-253	1530	1240	12	10	120	2,2
-196	1300	1100	48	34	140	2,16
-70	880	635	51	50	140	2,09
20	760	420	58	60	150	2,07
100	700	300	73	50	330	2,03
200	680	300	50	73	330	1,93
300	650	250	50	75	330	1,89
400	600	240	50	73	330	1,83
500	530	220	47	72	300	1,68
600	450	180	45	63	300	1,58
700	350	150	37	60	280	--
800	230	150	45	60	250	--
900	150	100	58	73	210	--
1000	50	15	72	73	180	--
1050	40	15	74	73	155	--
1100	30	--	75	72	155	--
1150	10	--	55	70	125	--
1200	10	--	50	62	125	--

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат із сталі 07X21Г7АН5 випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 5949–75, ТУ 14-1-952–74(ЭШ), ТУ 14-1-1141–74, ТУ 14-1-2455–78, ТУ 14-1-2476–78 (ЭШ, ВД), ТУ 14-1-3041–80.

10.3.7. Сталь 03X13АГ19 (ЧС36)

Застосування. Сталь 03X13АГ19 призначена для виготовлення зварних великогабаритних металлоконструкцій, що експлуатуються за температури, не нижчій за мінус 196 °С. Використання сталі 03X13АГ19 замість 12X18Н10Т дозволяє зменшити металоємність конструкції за рахунок вищої міцності і відповідно зменшити витрати хладагентів, необхідні для охолодження криогенного устаткування.

Корозійна стійкість. Сталь корозійностійка в атмосферних умовах (окрім морської). Її можна застосовувати як корозійностійкий матеріал для

роботи в слабоагресивних середовищах.

Фізичні властивості. Густина $\rho=7800 \text{ кг/м}^3$. Коефіцієнти теплопровідності λ , температурного відносного лінійного розширення α , масова теплоємність c за різних температур наведено в табл. 10.29.

Таблиця 10.29. Теплофізичні властивості сталі 03X13AG19 залежно від температури

$t, ^\circ\text{C}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	$c, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$	$t, ^\circ\text{C}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	$c, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$
-253	0,05	2	—	20...100	15,9	—	40,6
-243	0,1	6	—	20...200	18,1	—	40,3
-233	0,4	—	4,9	20...300	18,3	—	42,0
-223	0,9	66	5,9	20...400	17,5	—	46,6
-203	2,7	145	7,4	20...500	16,8	—	51,5
-173	2,8	260	9,2	20...600	16,1	—	54,7
-123	6,3	268	11,1	20...700	14,9	—	58,5
-73	7,6	447	12,9	20...800	13,7	—	61,8
0	11,9	507	15,1	20...900	—	—	64,0
20	14,6	493	—				

Зварювання. Сталь зварюють усіма видами зварювання – аргонодуговим, ручним, електродуговим та автоматичним під шаром флюсу.

Для зварювання рекомендуються дрiт із сталей марок СВ-01Х19Н18І0АН4 і СВ-05Х15Н9Г6АМ, електроди марки АНВ-24, флюси АН-45, АН-26С, АН26СП.

Технологічні параметри. Сталь піддають усім видам механічного оброблення, а також штампуванню, витягуванню, волочінню. Під час оброблення різанням стійкість інструменту дещо нижча, ніж під час оброблення сталі 12Х18Н10Т (на 20 % під час точіння, на 15 % під час свердління).

Температурний діапазон гарячого оброблення тиском 1200...950 °С. Травлення шліфів для виявлення мікроструктури провадять у 20 %-му розчині азотної кислоти. У процесі виготовлення виробів методами холодного деформування часто потрібно виконувати проміжне термічне оброблення за режимом: загартування від 950...1000 °С у воді або на повітрі. Для видалення окалини перед травленням рекомендується розпушення її в розчині NaOH (200 г/л) і KMnO₄ (50 г/л) за температури 90...100 °С.

Хімічну пасивацію провадять у розчинах HNO₃ (300 г/л) і K₂Cr₂O₇ (6 г/л).

Фізико-механічні властивості сталі 03X13AG19 залежно від температури наведено в табл. 10.30.

Металургійний прокат із сталі 03X13AG19 випускається згідно з ТУ 14-1-743–73 (лист товстий), ТУ 14-1-2682–79 (трубна заготованка), ТУ 14-1-2849–79 (лист тонкий), ТУ 14-3-301–74 (труби гарячедеформовані).

Таблиця 10.30. Фізико-механічні властивості сталі 03X13AГ19 залежно від температури

t , °C	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCV, Дж/м ²	$E \cdot 10^{-5}$, МПа
-253	1390	900	12	16	100	—
-196	1300	730	31	22	125	2,22
-70	1020	480	66	68	240	2,09
-20	890	410	60	63,0	310	—
20	790	381	63,0	74,5	—	20,07
600	342	127	39,8	62,4	330	2,23
700	249	127	50,2	51,3	328	2,27
800	160	109	62,1	68,2	300	2,37
900	95	76	64,5	52,2	216	—
1000	62	53	58	52	182	—

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

10.3.8. Сталь 03X20H16AГ6

Застосування. Сталь 03X20H16AГ6 використовують для виготовлення зварних великогабаритних посудин і трубопроводів, що тривалий час перебувають під тиском в умовах періодичної зміни температур від 20 до мінус 269 °С, її також використовують як немагнітний матеріал.

Переліком матеріалів, рекомендованих для виготовлення посудин, що експлуатуються під тиском, допускається застосування сталі температур від 600 до мінус 269 °С без обмеження тиску.

Корозійна стійкість. У загартованому стані сталь має високу корозійну стійкість у промисловій атмосфері, а також у слабо- та середньоокиснювальних середовищах. У 15...55 %-й азотній кислоті її стійкість близька до стійкості сталі типу Х18Н10.

Фізичні властивості. За температури 20 °С густина $\rho=7810$ кг/м³. Значення коефіцієнтів теплопровідності λ , температурного відносного лінійного розширення α і масової теплоємності c залежно від температури наведено в табл. 10.31.

Зварювання. Сталь 03X20H16AГ зварюється ручним електродуговим, ручним та автоматичним аргондуговим способами, автоматичним зварюванням під шаром флюсу. При цьому стійкість до гарячого розтріскування задовільна.

Сталь 03X20H16AГ добре зварюється зі сталями аустенітного класу 04X18H10 і 12X18H10Т, а також з вуглецевою Сталлю 20 і низьколегованою сталлю 09Г2С.

Технологічні параметри. Сталь деформується в гарячому стані за температури 1200...900 °С, а також піддається холодному пластичному деформуванню (штампуванню, гнуттю, висаджуванню, витягуванню). Однак внаслідок

підвищеної схильності до деформаційного зміцнення під час холодного пластичного деформування сталь потребує прикладання більших зусиль порівняно зі сталями типу X18H10.

Таблиця 10.31. Теплофізичні властивості сталі 03X20H16AG6 залежно від температури

$t_{\text{вип}},$ °C	$\lambda,$ Вт/(м·К)	$c,$ Дж/(кг·К)	$\alpha,$ К ⁻¹	$t_{\text{вип}},$ °C	$\lambda,$ Вт/(м·К)	$c,$ Дж/(кг·К)	$\alpha,$ К ⁻¹
27	17,5	481	16,1	-213	7,4	130	3,22
0	15,4	467	15,64	-223	6,9	85	1,78
-23	14,1	458	15,2	-233	6,3	50	0,75
-73	12,2	424	13,91	-243	5,2	25	0,13
-123	10,2	369	11,93	-253	3,8	5	0,06
-173	8,6	263	8,27	-260	2,5	4,6	0,04
-196	8,0	190	5,73	-269	0,65	—	0,01
-203	7,7	170	4,84				

Термічне оброблення. Після пластичного оброблення (холодного або гарячого) сталь піддають нагріванню до 1000...1050 °C і досить швидко охолодженню у воді або обдуванням повітрям. Тривалість нагрівання визначають з розрахунку 2...3 хв на 1 мм товщини під час висадження в піч, нагрітої до заданої температури. Для видалення окалини після термічного оброблення застосовують травлення в реактиві 140 г/л HNO₃ і 50 г/л HF за температури 20 °C.

Фізико-механічні властивості сталі 03X20H16AG6 залежно від температури наведено в табл. 10.32.

Таблиця 10.32. Фізико-механічні властивості сталі 03X20H16AG6 залежно від температури

$t_{\text{вип}},$ °C	σ_B МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\delta,$ %	$\psi,$ %	KCU, Дж/м ²
-269	1500	1000	25	21	—
-196	1930	1360	31	44	100
-153	1550	900	48	27	90
20	780	410	52	75	720
900	162	110	18,4	18,6	—
1000	88	50	32,9	20,7	60
1100	44	26	40	39,8	81
1250	27	23	41,8	36,6	145

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат із сталі 03XX20H16AG6 випускається згідно з нормативними документами: ТУ 14-1-2922-80 (сорт), ТУ 14-1-3291-80 (лист товстий).

10.4. Хромонікелеві та інші сталі аустенітно-феритного класу

Структура корозійностійких сталей аустенітно-феритного класу складається із зерен аустеніту та фериту, які рівномірно чергуються. При цьому обидві структурні складові можуть мати певну напрямленість волокон унаслідок попереднього пластичного деформування (рис. 10.4).

Наявність двофазової структури надає сталям аустенітно-феритного класу властивостей, які характерні окремо для аустенітних і феритних сталей. Водночас сталі аустенітно-феритного класу мають низку властивостей, які визначають самостійні галузі їх використання.

Під час нагрівання в діапазоні 450...500 °С у феритній складовій проходять процеси, які призводять до 475-градусної крихкості. Швидкість цього процесу, який супроводжується зменшенням пластичності та ударної в'язкості, тим вища, чим вищий уміст хрому у фериті і чим більша частка фериту в сталі.



Рис. 10.4. Мікроструктура аустенітно-феритної сталі 03Х24Н6М3 після загартування від 1050 °С у воді ($\times 400$). Світла складова – аустеніт, темна – ферит

В умовах тривалої експлуатації та підвищених температур гранична робоча температура для сталей аустенітно-феритного класу становить 350 °С.

Оптимальним термічним обробленням сталей аустенітно-феритного класу є загартування з охолодженням у воді. Після такої термічної обробки аустенітно-феритні сталі мають найкращу сукупність експлуатаційних властивостей. На практиці температура загартування подібних сталей зазвичай становить 1000... 1100 °С. Тривалість нагрівання під загартування добирають із розрахунку 1 хв на 1 мм товщини

Гетерофазна аустенітно-феритна структура надає сталі високої міцності порівняно з чисто аустенітними сталями. Максимального значення границь міцності та плинності досягають за вмісту фериту 50...60 %. Відомі аустенітно-феритні сталі мають за кімнатної температури $\sigma_T = 450...600$ МПа, $\sigma_B = 600...850$ МПа, якщо $\delta \geq 30$ % і $\psi \geq 50$ %. Таким чином, міцність аустенітно-феритних сталей у 1,5...2 рази вища від аустенітних і феритних сталей за збереження досить високої пластичності.

Аустенітно-феритні сталі мають задовільну технологічність для паяння, зварювання, формування ажурних і тонких конструкцій, які виготовляють з тонколистового металу.

Аустенітно-феритні сталі мають високу загальну корозійну стійкість у багатьох окисних та окисно-відновних середовищах і їх можна здебільшого використовувати замість сталей аустенітного класу X18H10T, X17H13M3T.

У зіставних умовах випробувань сталі аустенітно-феритного класу мають близьку, а в деяких випадках дещо більшу опірність МКК порівняно з аустенітними сталями. Уміст у сталі фериту сприяє підвищенню стійкості до корозійного розтріскування, що вигідно відрізняє багато аустенітно-феритних сталей від аустенітних.

Найчастіше корозійностійкі аустенітно-феритні сталі використовують для зварних посудин, реакційного і теплообмінного устаткування, яке контактує з агресивними середовищами.

10.4.1. Сталь 08X22H6T (ЭП 53)

Застосування. Аустенітно-феритну сталь 08X22H6T підвищеної міцності рекомендовано для роботи переважно в окисних середовищах. Сталь використовують для виготовлення будь-яких хімічних апаратів, трубопроводів, арматури. Температура експлуатації зварного устаткування від мінус 70 до 300 °С за необмеженого тиску.

Сталь 08X22H6T застосовують як замітник корозійностійких сталей X18H9T, X18H10T.

Корозійна стійкість. Згідно з ТУ 14-1-52-71, ТУ 14-1-894-64, ТУ 14-3-59-74 сталь 08X22H6T має зберігати стійкість до МКК (метод АМ, ГОСТ 6032-89) за тривалості випробувань у контрольному розчині протягом 24 год. Випробування на стійкість до МКК виконують на зразках після термічного оброблення, наведених у нормативно-технічній документації на металургійну продукцію та додаткового провокуючого нагрівання за температури 550 °С протягом 1 год з охолодженням на повітрі. Згідно з ГОСТ 5582-84, ГОСТ 5949-75, ГОСТ 7350-77 сталь має бути стійкою до МКК під час випробувань методами АМ, АМУ (ГОСТ 6032-89).

Сталь 08X22H6T має перший бал стійкості в 65 %-й азотній кислоті за температури 85 °С і в 98 %-й – за температури 40 °С, у 93 %-й сірчаній кислоті до

70 °С, у сумішах азотної та сірчаної кислот (5 %HNO₃ і 15 % H₂SO₄ до $t_{\text{кип}}$, 5 % HNO₃ і 30 % H₂SO₄ до 95 °С, 50 %HNO₃ і 50 % H₂SO₄ до 85 °С), у сечовині 55...65 %-й до 60 °С і 92 %-й до 110 °С, у водних розчинах аміаку до 100 °С, у 50 %-му їдкому калії до 120 °С, у 50 %-й молочній кислоті до 50 °С, у 10...90 %-й фосфорній кислоті до 100 °С, в етиловому та метиловому спиртах до $t_{\text{кип}}$.

Сталь має підвищену стійкість до корозійного розтріскування в 42 %-му розчині MgCl₂.

Сталь 08X22Н6Т рекомендується для виготовлення зварного устаткування, що експлуатуються в середовищах виробництва азотної кислоти (60 % HNO₃) до 80 °С, випарювання та нейтралізації аміачної селітри (300 г/л HNO₃ і 120г/л Р₂О₅) до 90 °С, (450 г/л HNO₃, 300 г/л HNO₃ і сліди HF) до 60 °С, розчину сечовини 70...90 %-ї концентрації до 120 °С і калійної селітри (120 г/л HNO₃ і 80 г/л KCl) до 100 °С.

Сталь 08X22Н6Т можна використовувати для виготовлення апаратів виробництв оцтового ангідриду методом піролізу оцтової кислоти.

У нафтопереробній промисловості сталь рекомендована для застосування у виробництвах жирних кислот до 260 °С і в пропан-фенольно-крезольних сумішах різних параметрів, у виробництві барвників, у середовищах циклогексанової кислоти до 100 °С.

Сталь 08X22Н6Т рекомендується для застосування у виробництві антибіотиків, а також є стійкою проти промислової, морської та тропічної атмосфери. У цих середовищах сталь 08X22Н6Т є повноцінним замінником сталі 08X18Н10Т.

Фізичні властивості. Густина $\rho=7800 \text{ кг/м}^3$. Коефіцієнт теплопровідності за температури 20 °С $\lambda=16,8 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Коефіцієнт температурного відносного лінійного розширення в різних діапазонах температур: $\alpha=9,6\cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температури 20...100 °С, $\alpha=13,8\cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температури 20...200 °С, $\alpha=16\cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температури 20...400 °С, $\alpha=16,4\cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температури 20...500 °С, $\alpha=16,2\cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температури 20...600 °С, $\alpha=16,5\cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температури 20...700 °С, $\alpha=16,7\cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температури 20...800 °С, $\alpha=17,1\cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температури 20...900 °С.

Зварювання. Сталь 08X22Н6Т має хорошу зварюваність. При цьому використовують ручний, автоматичний та аргонодуговий режими.

Для ручного електродугового зварювання рекомендується застосовувати електроди ЦЛ-11 з присадковим дротом Св-08Х19Н10Б. Зварювання цими електродами забезпечує зварним швам високу стійкість до загальної корозії та МКК, хорошу пластичність (кут загину 180°) і міцність на рівні основного металу. Аналогічний дріт використовують і для аргонодугового та автоматичного електродугового зварювання під шаром флюсу. Рекомендованим є флюс марки АН-26. В обох випадках зварні з'єднання мають механічні властивості, однакові з основним металом.

Технологічні параметри. Температурний діапазон гарячого пластичного деформування сталі 08Х22Н6Т – 1150...850 °С. Сталь технологічна під час оброблення тиском у холодному та гарячому станах (гнуття, вальцювання, витягання, штампування).

Оброблюваність різанням сталі 08Х22Н6Т близька до оброблюваності сталі 12Х18Н10Т.

Термічне оброблення. Зварні шви сталі 08Х22Н6Т, отримані у будь-який спосіб, не потребують термічного оброблення.

Найкраще сполучення механічних властивостей і корозійної стійкості забезпечує загартування від 1020...1050 °С у воді. Аналогічне термічне оброблення застосовують для усунення впливу попереднього холодного або гарячого пластичного деформування.

Фізико-механічні властивості сталі 08Х22Н6Т залежно від температури наведено в табл. 10.33.

Таблиця 10.33. Фізико-механічні властивості сталі 08Х22Н6Т залежно від температури

t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	КСУ, Дж/м ²	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	$t_{\text{вип}}$, °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	КСУ, Дж/м ²	$E \cdot 10^{-5}$, МПа
-196	1450	710	30	150	—	200	510	300	33	300	1,93
-100	980	510	30	200	—	300	500	300	30	300	1,81
0	750	430	37	240	—	400	500	300	30	300	1,65
20	680	410	40	250	2,03	500	450	250	30	300	1,62
100	550	350	38	250	2,01	600	300	180	35	—	1,54

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат зі сталі 08Х22Н6Т випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 5949–75 (труби гарячедеформовані), ГОСТ 7350–77 (лист товстий), ГОСТ 9940–74 (труби гарячедеформовані), ГОСТ 9941–74 (труби холоднокатані), ТУ 14-1-52–71 (лист товстий), ТУ 14-1-894–74 (лист товстий), ТУ 14-3-59–74 (труби гаряче- і холоднокатані).

10.4.2. Сталь 03Х23Н6 (ЭИ68)

Застосування. Аустенітно-феритну сталь 03Х23Н6 рекомендовано для зварного ємнісного устаткування, яке експлуатується у виробництві азотної кислоти, аміачної селітри, адипінової кислоти. Діапазон допустимих температур експлуатації сталі від мінус 70 до 300 °С.

Сталь 03Х23Н6 є заміником сталей типу Х18Н9Т і Х18Н10Т. Порівняно зі стабілізованими титаном сталями 08Х18Н9Т, 12Х18Н9Т, 08Х18Н10Т, 08Х22Н6Т низьковуглецева сталь 03Х23Н6 має вищу стійкість до ножової корозії у зварних з'єднаннях.

Корозійна стійкість. Згідно з ТУ 14-1-70–71 і ТУ 14-1-1541–75 сталь 03Х23Н6 має бути стійкою до МКК під час випробувань методом АМ (ГОСТ 6032–89) з тривалістю витримування в контрольному розчині протягом 24 год.

У разі випробувань у киплячій 67 %-й азотній кислоті особливої чистоти з густиною 1410 кг/м^3 тривалістю у три цикли по 48 год швидкість корозії не повинна перевищувати 0,5 мм/рік.

Випробування обома методами проводять на зразках, вирізаних з листа в загартованому стані, з додатковим провокуючим нагріванням протягом 1 год за температури 550°C .

Сталь 03Х23Н6 рекомендована для устаткування, що експлуатується в середовищах виробництв азотної кислоти: 10 %-ї за температури до 140°C , 20 %-ї до 120°C , 30 %-ї до 110°C , 40...70 %-ї до 100°C , а також у середовищах виробництв аміачної селітри, адипінової кислоти і т.ін.

Сталь має підвищену стійкість до корозійного розтріскування в киплячому 42 %-му розчині хлористого магнію.

Фізичні властивості. Густина $\rho = 7700 \text{ кг/м}^3$. Модуль пружності $E = 2 \cdot 10^5$ і $1,8 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ за температур 20 і 300°C відповідно. Коефіцієнт температурного відносного лінійного розширення ($\alpha \cdot 10^6$) у діапазонах температур 20...100, 20...200, 20...300 $^\circ\text{C}$ відповідно дорівнює 9,6; 13,8 і $16,0 \text{ K}^{-1}$. Коефіцієнт теплопровідності за температури 20°C $\lambda = 16,8 \text{ Вт/(мК)}$.

Зварювання. Сталь 03Х22Н6 має хорошу зварність у ручному режимі. Зварювання здійснюють електродами марки ОЗЛ-22, міцність зварного шва не нижча за $0,9\sigma_{\text{в}}$ основного металу. Корозійна стійкість шва така ж сама, як і основного металу.

Зварні шви сталі 03Х22Н6 не схильні до ножової корозії в киплячій 65 %-й азотній кислоті.

Технологічні параметри. Гаряче пластичне деформування низьковуглецевої сталі 03Х22Н6 бажано провадити за температур вищих від температур, прийнятих для корозійностійких сталей. Рекомендований діапазон температур гарячої деформації для цієї сталі становить 1280...1110 $^\circ\text{C}$. Сталь 03Х22Н6 технологічна під час гнуття і штампування в холодному та гарячому станах.

Термічне оброблення. Сталь 03Х22Н6 піддається загартуванню від 1000...1050 $^\circ\text{C}$ у воді. Аналогічне термічне оброблення застосовують для зняття наклепу після холодного або гарячого пластичного деформування.

Фізико-механічні властивості сталі 03Х22Н6 залежно від температури наведено в табл. 10.34.

Металургійний прокат із сталі 03Х22Н6 випускається згідно з нормативними документами: ТУ 14-1-10–71 (лист товстий). ТУ 14-1-1541–75 (лист товстий), ТУ 14-1-1554–75 (сорт), ТУ 14-1-1905–76 (лист тонкий).

Таблиця 10.34. Фізико-механічні властивості сталі 03X22H6 залежно від температури

t , °C	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	t , °C	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
-100	1080	700	39	200	570	300	38
-70	1000	600	41	400	470	190	41
0	750	450	60	600	400	200	36
20	890	450	42	—	—	—	—

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

10.4.3. Сталь 08X21H6M2T (ЭП 54)

Застосування. Аустенітно-феритну сталь 08X21H6M2T підвищеної міцності рекомендовано для експлуатації в окисно-відновних середовищах, наприклад, у разі органічного синтезу, у сірчаноокислотному та целюлозно-паперовому виробництвах.

Сталь використовують для виготовлення зварної хімічної апаратури, зокрема посудин, теплообмінників, реакторів, трубопроводів, арматури. Температура середовищ в апаратах і пристроях від мінус 40 до 300 °C, тиск не обмежується.

Сталь 08X21H6M2T успішно використовують як замітник корозійностійких сталей 08X17H13M2T, 10X17H13M2T.

Під час нагрівання в діапазоні 350...550 °C у сталі відбуваються процеси, зумовлені 475-градусною крихкістю, що супроводжується зниженням ударної в'язкості та пластичності.

Корозійна стійкість. Згідно з ТУ 14-1-10-71, ТУ 14-1-52-71, ТУ 14-1-894-74, ТУ 14-3-59-74 сталь 08X21H6M2T має бути стійкою до МКК під час випробування методом АМ (ГОСТ 6032-89) з витримуванням у контрольному розчині протягом 24 год. Випробування проводять на зразках після термічного оброблення за режимами, що вказані в нормативно-технічній документації на металургійний прокат і додаткового провокуючого нагрівання за температури 500 °C протягом 1 год з охолодженням на повітрі.

Згідно з ГОСТ 5582-75, ГОСТ 5949-75 і ГОСТ 7350-77 сталь 08X21H6M2T контролюється методами АМ та АМУ (ГОСТ 6032-89) після провокуючого нагрівання за температури 550 °C протягом 1 год.

Сталь 08X21H6M2T має перший бал стійкості в органічних кислотах, у тому числі в оцтовій кислоті концентрацією до 98 % за температури $t_{\text{кип}}$, у 20 %-й мурашиній кислоті за температури $t_{\text{кип}}$, і в діапазоні 80...90 % за температури 20...40 °C, а також у фосфорній кислоті будь-якої концентрації і в сірчаній кислоті. Сталь має підвищену стійкість до корозійного розтріскування у MgCl_2 .

Сталь 08X21H6M2T рекомендовано для виготовлення зварного устаткування, призначеного для виробництв органічного синтезу (вироблення мела-

ніну, чистої оцтової кислоти та ін.), сірчаної кислоти (92 %-а H_2SO_4 і 7 % SO_2 за температури 40...60 °С), а також для виробництва термічної фосфорної кислоти (80 %-ї H_3PO_4 за температури 100 °С), капролактаму, сечовини.

Сталь 08X21Н6М2Т використовують для устаткування виробництв сульфатної та сульфитної целюлози, хлористого амонію, сульфату амонію, який містить вільну сірчану кислоту до 20 г/л за температур 100...110 °С. У зазначених виробництвах сталь 08X21Н6М2Т є повноцінним замінником сталей типу Х17Н13М2Т. До найбільш поширеного устаткування, що виготовляється із сталі 08X21Н6М2Т, належать ректифікаційні колони, екстракційні, насадкові, продувні та інші посудини, сховища, баки, збірники, пастки.

Фізичні властивості. Густина $\rho = 7700 \text{ кг/м}^3$, коефіцієнт теплопровідності за температури 20 °С $\lambda = 12,6 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, коефіцієнт температурного відносного лінійного розширення $\alpha = 9,5 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температури 20...100 °С, $\alpha = 13,8 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температури 20...200 °С, $\alpha = 16 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температури 20...400 °С, $\alpha = 16,3 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температури 20...500 °С, $\alpha = 16,7 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температури 20...600 °С, $\alpha = 17,1 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температури 20...800 °С, $\alpha = 17,4 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ за температури 20...800 °С.

Зварювання. Сталь 08X22Н6М2Т добре зварюється всіма видами ручного та автоматичного процесів. Для ручного електродугового зварювання використовують електроди із дроту Св-04Х19Н11М3 з покриттям АНВ-17 та електроди із дроту Св-06Х21Н6М2Т з покриттям АНВ-17. Ці ж присадкові матеріали використовують для автоматичного електродугового під шаром флюсу та аргонодугового зварювання, а також для ручного аргонодугового зварювання. Незалежно від хімічного складу присадкового дроту для автоматичного зварювання застосовують флюс АН-26. Зварні з'єднання стійкі (швидкість корозії не більша за 0,1 мм/рік) у 10 %-й сірчаній кислоті до 40 °С, у 85 %-й оцтовій та у 85 %-й фосфорній кислотах до 70 °С.

Зварні з'єднання сталі 08X21Н6М2Т, виконані за режимами зварювання, аналогічними зварюванню сталі 10Х18Н10Т, мають механічні властивості не гірші, ніж основного металу, стійкі до МКК і не потребують термічного оброблення.

Технологічні параметри. Температурний діапазон гарячого пластичного деформування сталі – 1150...850 °С. Сталь може піддаватись гнуттю та штампуванню як у гарячому, так і в холодному стані. Під час цих операцій та оброблення різанням її технологічність аналогічна технологічності сталі 10Х17Н13М2Т.

Термічне оброблення. Сталь 08X21Н6М2Т піддається загартуванню у воді від 1050 °С. Такі ж режими термічного оброблення застосовують для зняття наклепу після гарячого та холодного пластичного деформування.

Фізико-механічні властивості сталі 08X21Н6М2Т залежно від температури наведено в табл. 10.35.

Металургійний прокат із сталі 08Х21Н6М2Т випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 5949–75 (сорт), ГОСТ 5350–77(лист товстий), ТУ 14-1-10–71(лист товстий), ТУ 14-1-52–71 (лист товстий), ТУ 14-1-894–74 (лист товстий), ТУ 14-3-59–74 (труби гаряче- і холоднокатані).

Таблиця 10.35. Фізико-механічні властивості сталі 08Х21Н6М2Т залежно від температури

t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	$E \cdot 10^{-5}$, МПа
–196	1600	780	31	–	200	570	330	34	1,78
–100	1200	620	32	–	300	540	300	34	1,69
–50	1100	550	32	–	400	530	300	32	1,64
0	800	420	40	–	500	480	200	32	1,62
20	720	440	50	1,93	600	300	200	30	1,53
100	640	380	39	1,85	700	220	160	27	1,39

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

10.4.4. Сталь 03Х22Н6М2 (ЭИ 67)

Застосування. Аустенітно-феритну сталь 03Х22Н6М2 рекомендовано для зварного устаткування виробництв мінеральних добрив, сірчаноокислотних виробництв і т.ін. Температура робочих середовищ в апаратах і посудинах становить від мінус 70 до 300 °С. Як і сталь 08Х21Н6М2Т, сталь 03Х22Н6М є повноцінним замінником сталі 10Х17Н12М2Т. Порівняно із сталлю 10Х17Н12М2Т, що стабілізована титаном, низьковуглецева сталь 03Х22Н6М2 має значно вищу стійкість до ножової корозії у зварних з'єднаннях.

Корозійна стійкість. Згідно з ТУ 14-1-10–71 і ТУ 14-1-1541–75 сталь 03Х22Н6М2 має бути стійкою до МКК під час випробувань методом АМ (ГОСТ 6032–89) протягом 24 год. Випробуванням піддають загартовані зразки з додатковим провокуючим нагріванням за температури 550 °С. Під час випробувань у киплячій (65 ± 2) %-й азотній кислоті ($\rho = 1410 \text{ кг/м}^3$) з тривалістю випробувань по 48 год у три цикли швидкість корозії в загартованому стані не перевищує 0,5 мм/рік. За стійкістю до загальної корозії сталь 03Х22Н6М2 близька до сталі 08Х21Н6М2Т.

Сталь 03Х22Н6М2 рекомендовано для використання в хімічній апаратурі виробництв сечовини, оцтової кислоти, капролактаму.

Фізичні властивості. Густина $\rho = 7700 \text{ кг/м}^3$. Модуль пружності $E = 2 \cdot 10^5$ і $1,8 \cdot 10^5$ МПа за температури 20 і 300 °С відповідно. Коефіцієнт температурного відносного лінійного розширення $\alpha \cdot 10^6$ у діапазонах температур 10...100 °С, 20...200 °С, 20...300 °С відповідно дорівнює 9,5; 13,8 і $16,6 \text{ К}^{-1}$.

Зварювання. Сталь 03Х22Н6М2 добре зварюється всіма видами ручного зварювання. Для ручного електродугового зварювання використовують елект-

роди марки ОЗЛ-20, а для аргонодугового – дріт 03Х17Н14М2 (ЭП 551).

Міцність зварного шва не менша за $0,9\sigma_B$ основного металу, а корозійна стійкість така сама, як і корозійна стійкість основного металу. Зварні шви не потребують термічного оброблення.

Технологічні параметри. Сталь 03Х22Н6М2 технологічна для операцій гнуття та штампування в холодному і гарячому станах, а також під час оброблення різанням. Гаряче пластичне деформування низьковуглецевої сталі 03Х22Н6М2 доцільно провадити за температур, вищих від температур, використовуваної для корозійностійких сталей. У цьому разі діапазон температури гарячого деформування становить 1280...1100 °С.

Термічне оброблення. Сталь 03Х22Н6М2 потребує загартування від 1000...1050 °С з охолодженням у воді. Аналогічним чином знімається наклеп після холодного та гарячого деформування.

Фізико-механічні властивості сталі 03Х22Н6М2 залежно від температури наведено в табл. 10.36.

Таблиця 10.36. Фізико-механічні властивості сталі 03Х22Н6М2 залежно від температури

t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	$t_{\text{вип}}$, °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
-100	1300	600	40	—	200	550	300	35	65
-70	1050	550	40	—	300	—	—	—	—
0	750	450	60	70	400	450	100	41	68
20	570	350	30	68	500	—	—	—	—
100	—	—	—	—	600	400	120	38	68

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат із сталі 03Х22Н6М2 випускається згідно з нормативними документами: ТУ 14-1-10-71(лист товстий), ТУ 14-1-1541-75 (лист товстий), ТУ 14-1-1905-76 (лист тонкий).

10.4.5. Сталь 08Х18Г8Н2Т (КО-3)

Застосування. Аустенітно-феритну сталь 08Х18Г8Н2Т підвищеної міцності використовують для зварних апаратів, які контактують з окисними середовищами – азотною кислотою, аміачною селітрою і т.ін. Температура середовищ в апаратах із сталі 08Х18Г8Н2Т – від мінус 50 до 300 °С. Ця сталь є повноцінним замінником сталей Х18Н9Т, Х18Н10Т.

Корозійна стійкість. Згідно з ТУ 14-1-1894-74, ТУ 14-1-3289-74, ТУ 14-3-387-75 сталь 08Х18Г8Н2Т має бути стійкою до МКК під час випробувань методом АМ (ГОСТ 6032-89) з тривалістю витримування в контрольному розчині протягом 15 год. Згідно з вимогами ГОСТ 7350-77 сталь випробовують методами АМ або АМУ. Стійкість до МКК випробовують на зразках

після термічного оброблення за режимами, вказаними в технічних умовах і після додаткового провокуючого нагрівання за температури 550 °С протягом 1 год.

Швидкість корозії сталі 08X18Г8Н2Т не перевищує 0,2 мм/рік у 58 %-й азотній кислоті до 80 °С. Сталь має перший бал стійкості в 50 %-й оцтовій кислоті до 80 °С і в 40 %-й фосфорній кислоті до 80 °С.

Типове хімічне устаткування, що виготовляється із сталі 08X18Г8Н2Т: збирачі розчину сечовини (60 %-й розчин за температури 60 °С і тиску 0,2 МПа), збирачі розчину сульфату амонію (70 %-й розчин за температури 80 °С), сепаратори, скрубери нейтралізації аміачної селітри (суміш аміачної селітри з азотною кислотою за температури 80 °С), трубопроводи діаметром до 300 мм (50 %-ва азотна кислота), колектор арсено-содового розчину за температури 40 °С і тиску 0,6 МПа, окисна башта (55 %-ва азотна кислота, нітрозний газ за температури 30 °С і тиску 0,15 МПа).

Із сталі 08X18Г8Н2Т виготовляють залізничні цистерни для транспортування 50 %-ї азотної кислоти замість сталі 12X18Н10Т, а також цистерни для перевезень капролактаму, азотнокислого амонію та жовтого фосфору.

Фізичні властивості. Густина $\rho = 7700 \text{ кг/м}^3$. Коефіцієнт теплопровідності за температури 20 °С $\lambda = 21 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Коефіцієнт температурного відносного лінійного розширення $\alpha \cdot 10^6$ у діапазонах температур 20...100 °С, 20...200 °С, 20...400 °С, 20...500 °С, 20...600 °С, 20...700 °С, 20...800 °С, 20...900 °С відповідно дорівнює 12,3; 13,1; 14,4; 15,3; 15,6; 16,0; 16,4; 17,2 K^{-1} . Модуль пружності під час розтягування E за температур 100, 300, 500, 700, 900 °С відповідно дорівнює $2,03 \cdot 10^5$, $1,84 \cdot 10^5$, $1,65 \cdot 10^5$, $1,61 \cdot 10^5$, $1,6 \cdot 10^5$ МПа.

Зварювання. Сталь 08X19Г8Н2Т добре зварюється ручним та автоматичним способами. Для ручного зварювання застосовують електроди ЦЛ-11 із дроту марки Св-08X18Г8Н2Т, для автоматичного – дріт марки 08X19Н10Б або 08X20Н9ГТ разом з флюсом АН-26. Міцність зварних з'єднань сталі 08X18Г8Н2Т, виконаних зазначеними зварювальними матеріалами, не менша від міцності основного металу. Корозійна стійкість зварних з'єднань у 50 %-й киплячій азотній кислоті аналогічна стійкості основного металу. Зварні шви, перевірені за методом контролю АМ (ГОСТ 6032–89), не схильні до МКК.

Технологічні параметри. Сталь піддається штампуванню в холодному та гарячому станах. Температурний діапазон гарячого пластичного деформування становить 1150...850 °С.

Сталь добре оброблюється різанням.

Термічне оброблення. Сталь потребує загартування від 980...1020 °С у воді. Аналогічне термічне оброблення застосовують для зняття наклепу після гарячого і холодного пластичного деформування.

Фізико-механічні властивості сталі 08X18Г8Н2Т залежно від температури наведено в табл. 10.37.

Таблиця 10.37. Фізико-механічні властивості сталі 08X18Г8Н2Т залежно від температури

t , °C	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
800	90	80	45	65
900	50	40	45	70
1000	20	15	60	80
1100	10	5	70	85
1200	—	—	80	90

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче:

Металургійний прокат із сталі 08X18Г8Н2Т випускається згідно з нормативними документами: ТУ 14-1-10-71 (лист товстий), ТУ 14-1-5421-75 (лист товстий), ТУ 14-1-1905-76 (лист тонкий).

10.4.6. Сталь 03X24Н6М3 (ЭИ 130)

Застосування. Аустенітно-феритну сталь 03X24Н6М3 призначено для виготовлення устаткування, що контактує з середовищами виробництв складних мінеральних добрив, зокрема з екстракційною фосфорною кислотою. Температурний діапазон використання сталей від мінус 40 до 300 °С. Термокінетичні параметри розвитку процесів 475-градусної крихкості близькі до сталей 08X24Н6Т і 03X22Н6М2.

Корозійна стійкість. Сталь 03X24Н6М3Т під час випробувань методами ВУ та АМУ (ГОСТ 6032-89) стійка до МКК після провокуючого нагрівання протягом 1 год за температури 550 °С. Під час випробувань методом ДУ (ГОСТ 6032-89) швидкість корозії за один цикл менша за 0,4 г/(м²·год).

Швидкість корозії основного металу та зварних з'єднань, виконаних ручним дуговим зварюванням, у 32 %-й екстракційній фосфорній кислоті за температури 90 °С (на базі 100...5000 год випробувань) не більша за 0,1 г/(м²·год).

Швидкість корозії основного металу в загартованому стані та після провокуючих нагрівань протягом 1...5 год у діапазоні 500...700 °С, а також зварних з'єднань, виконаних ручним дуговим зварюванням електродами ОЗЛ-37-1 і ОЗЛ-41, у пульпі (28 % Р₂О₅ і 1,5...2 % SO₃ та із співвідношенням рідкої фази до твердої в межах 2,2...2,6 за температури 60 °С, тривалість випробувань 2000 год) становить не більше 0,1 г/(м²·год).

За даними НДІХімаш у розчинах 87 %-ї ортофосфорної кислоти без домішок, 95 %-ї мурашиної кислоти за температур до 95 °С стійкість сталі 03X24Н6М3 до рівномірної корозії така ж, як сталей типу 10X17Н13 та сплаву 03X21Н21М4ГБ.

Фізичні властивості. Густина $\rho = 7700$ кг/м³. Значення коефіцієнта відносного температурного лінійного розширення від температури наведено в табл. 10.38.

Таблиця 10.38. Значення коефіцієнта відносного температурного лінійного розширення сталі 03Х24Н6М3 від температури

$t, ^\circ\text{C}$	20...100	20...200	20...300	20...400	20...500	20...600	20...700	20...800
$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	14,6	15,3	16,3	16,5	16,9	17,3	17,7	18,2

Зварювання. Сталь 03Х24Н6М3 добре зварюється ручним та електродуговим способами. Міцність зварних швів відповідає вимогам ГСТУ 3-17-191–2000. Фактичний коефіцієнт міцності зварних швів $\phi = 0,85 \dots 0,9$. За температури 800°C $\phi = 1$, що забезпечує штампованість зварних заготовок.

Статичний вигин зварних з'єднань, виконаних ручним аргонодуговим способом становить $120 \dots 140^\circ$, ручним електродуговим – $125 \dots 130^\circ$ (норма – не менше від 100°).

Технологічні параметри. Рекомендований температурний діапазон гарячого пластичного деформування становить $1200 \dots 900^\circ\text{C}$. Днища можна штампувати в гарячому (температурний діапазон $1100 \dots 900^\circ\text{C}$) і холодному ста-нах.

Радіус гнуття деталей (у тому числі зварних): у холодному стані $R = (1,5 \dots 2)s$, у гарячому стані $R = (1 \dots 1,5)s$ у діапазоні температур $850 \dots 950^\circ\text{C}$, де s – товщина заготовки.

Фізико-механічні властивості сталі 03Х24Н6М3 залежно від температури наведено в табл. 10.39.

Таблиця 10.39. Фізико-механічні властивості сталі 03Х24Н6М3 залежно від температури

$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{МПа}$	$\sigma_{0,2}, \text{МПа}$	$\delta, \%$	$\psi, \%$	$KCU, \text{Дж/м}^2$	$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma_B, \text{МПа}$	$\sigma_{0,2}, \text{МПа}$	$\delta, \%$	$\psi, \%$	$KCU, \text{Дж/м}^2$
800	139	116	55	55	–	1050	28	22	105	93	–
900	92	83	68	66	50	1100	16	15	134	96	13
950	54	42	95	83	–	1150	10	9	170	96	–
1000	31	23	148	94	220	1200	7	–	110	96	100

10.5. Високолеговані сталі та сплави на основі заліза

Для роботи в середовищах підвищеної агресивності використовують високолеговані сталі та сплави. У цьому сенсі під терміном «високолеговані» потрібно розуміти групу конструкційних матеріалів, які за ступенем легуваності перевищують найпоширеніші аустенітні сталі типу Х18Н10. Крім того, високолеговані сталі зазвичай легують певними елементами для підвищення опірності матеріалу в певному електроліті або певному виду корозії.

Потрібно передусім виділити групу досить поширених хромонікелевих сталей, легуваних молібденом, типу Х17Н13М2(М3), які є стійкими у відновних середовищах, а також використовуються в разі небезпеки виникнення точкової та щільної корозії і сірководневого окрихчування. Далі іде група високолегованих сталей і сплавів на хромонікелевій основі, які додатково ком-

плексно леговані молібденом і міддю або молібденом, міддю та кремнієм (03Х21Н21М4ГБ, 06ХН28МДТ та ін.). Ці дорогі матеріали зазвичай використовують в обмеженій кількості для високоагресивних окисно-відновних середовищ.

Останнім часом застосовують аустенітні сталі на хромонікелевій основі з високим умістом кремнію (до 6 %), який забезпечує високу стійкість у сильно-окисних середовищах, наприклад, у киплячій концентрованій азотній кислоті.

Високий рівень легованості, що забезпечує високу стійкість у певній категорії середовищ, водночас має низку небажаних наслідків, які необхідно враховувати спочатку на стадії створення сталі, а потім під час її виготовлення та експлуатації.

Підвищений уміст нікелю в γ -твердому розчині спричиняється передусім з суттєвим зменшенням граничної розчинності вуглецю, а також підвищенням його термодинамічної активності при утворенні карбідних фаз. Зазвичай зниження вмісту вуглецю до 0,02...0,035, яке в межах економічної доцільності можна забезпечити рафінувальними способами виплавлення, не завжди гарантує надійний захист сталі або сплаву від МКК зварних швів. Тому для високонікелевих матеріалів поруч зі зниженням умісту вуглецю на відміну від сталей типу Х18Н10 і навіть Х17Н13М2 зазвичай необхідна стабілізація титаном або ніобієм. Зі зниженням умісту вуглецю у високолегованих сталях типу 03Х21Н21М4ГБ водночас має збільшуватися співвідношення між умістом стабілізатора та вуглецю (Nb/C, Ti/C). При цьому абсолютний уміст стабілізатору може також зменшуватись.

Підвищення рівня легованості хромом, молібденом і нікелем зумовлює зростання опору пластичній деформації за високих температур, що супроводжується збільшенням навантажень на ковальсько-пресове устаткування. Збільшення вмісту кремнію теж спричинює зниження пластичності сталей.

Нарешті високолеговані сталі та сплави на основі заліза найчастіше належать до матеріалів зі зниженою зварністю внаслідок їх схильності до виникнення гарячих тріщин у зварних з'єднаннях.

10.5.1. Сталі 08Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М2Т (ЭИ 448), 10Х17Н13М3Т (ЭИ 432), 08Х17Н15М3Т (ЭП 580)

Застосування. Сталі 08Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т і 08Х17Н15М3Т використовують у зварних конструкціях, які контактують з фосфорною, мурашиною, оцтовою кислотами та іншими середовищами підвищеної агресивності, крім того, сталь 08Х17Н15М3Т застосовують для колон синтезу карбаміду (сечовини).

Корозійна стійкість. Згідно з нормами ГОСТ 4986–78, ГОСТ 5582–75, ГОСТ 5949–75, ГОСТ 7350–77, ГОСТ 9940–74, ГОСТ 9941–74, ГОСТ 18143–72 сталі 08Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т і 08Х17Н15М3Т необ-

хідно піддавати контролю на стійкість до МКК методами АМ та АМУ (ГОСТ 6032–89).

Наведені сталі мають перший бал стійкості в 50 %-й лимонній кислоті за температури $t_{\text{кип}}$; 10 %-й мурашиній кислоті до 100 °С; 5, 10 і 25 %-й сірчаній кислоті до 75 °С; у 50 %-й оцтовій кислоті до 100 °С і 80 %-й до 80 °С; у 25 %-й фосфорній кислоті за температури $t_{\text{кип}}$ і 40 %-й до 100 °С.

Завдяки молібдену сталі типу Х17Н13М2(3) і Х17Н15М3 мають підвищену опірність до точкової корозії в середовищах з умістом іонів хлору порівняно зі сталями типу Х18Н10.

Із сталі 10Х17Н13М2Т виготовляють найбільш відповідальну апаратуру у виробництві синтетичної оцтової кислоти, синтетичного каучуку та ізопрену.

Сталь 10Х17Н13М3Т зберігає стійкий пасивний стан у концентрованих розчинах їдкого натру (50 %) за температури до 100 °С. Ця сталь є одним з основних матеріалів для виготовлення апаратури виробництв станоламінів.

Аустенітну сталь 10Х17Н15Т застосовують для виготовлення колон синтезу сечовини, оскільки використання для цього сталей з нижчим умістом нікелю призводить до вибіркової корозії по ділянках δ-фериту.

Фізичні властивості. Густина $\rho=7900$ кг/м³. Коефіцієнт теплопровідності за температури 20 °С $\lambda=14,7$ Вт/(м·К), масова теплоємність за температури 20 °С $c=504$ Дж/(кг·К), модуль пружності за температури 20 °С $E=2,03 \cdot 10^5$ МПа. Значення коефіцієнта температурного відносного лінійного розширення за різних температур наведено в табл. 10.40.

Таблиця 10.40. Значення коефіцієнта відносного температурного лінійного розширення сталей 08Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т і 08Х17Н15М3Т від температури

$t, ^\circ\text{C}$	20...100	20...200	20...300	20...400	20...500
$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	16,5	17,5	18,	18,5	19,0

Зварювання. Сталі 08Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т і 08Х17Н15М3Т добре зварюються ручним та автоматичним електродуговим і аргонодуговим способами. Для ручного електродугового зварювання сталей 08(10)Х17Н13М2Т і 10Х17Н13М3Т потрібно використовувати електроди ЭА-400/10у та НЖ-13, які забезпечують стійкість зварних швів до МКК. Для автоматичного під шаром флюсу (АН-26, АНФ14, АНФ6) зварювання цих сталей рекомендовано застосовувати дрід Св-04Х19Н11 і Св-06Х19Н10М3Т. Для автоматичного аргонодугового зварювання та зварювання під шаром флюсу сталі 08Х17Н13М13Т потрібно використовувати дрід Св-01Х19Н18Г10АМ4, а для ручного електродугового – електроди АНВ-17, АНВ-18 та АНВ-20.

Технологічні параметри. Сталі 08Х17Н13М2, 10Х17Н13М3Т і 08Х17Н13М3Т технологічні за операцій, пов'язаних з гарячою пластичною деформацією. Діапазон температур гарячого деформування становить 1200...850 °С, а для плавок з умістом δ-фериту доцільно дещо знизити темпе-

ратуру початку деформування.

Термічне оброблення. Сталі 08X17H13M2T, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T і 08X17H15M3T потребують загартування у воді від 1050...1080 °С.

Для інженерних розрахунків на міцність потрібно використовувати фізико-механічні властивості сталей, регламентовані стандартами, що наведені нижче.

Металургійний прокат із сталей 08X17H13M2T, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T і 08X17H15M3T виготовляють згідно з такими нормативними документами: ГОСТ 4986–78 (стрічка), ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 5949–75 (сорт), ГОСТ 7350–77 (лист товстий), ГОСТ 7366–77 (лист товстий), ГОСТ 9940–74 (труби гарячедеформовані), ГОСТ 9941–74 (труби холоднодеформовані).

10.5.2. Сталь 03X17H14M3

Застосування. Сталь 03X17H14M3 використовують для виготовлення основних вузлів зварного устаткування синтезу карбаміду (сечовини) та капролактаму.

Корозійна стійкість. Згідно з ТУ 14-1-240–74, ТУ 14-1-692–73, ТУ 14-1-1154–74, ТУ 14-1-1541–75, ТУ 14-1-2144–77 сталь 03X17H14M3 має бути стійкою до МКК під час випробувань у 65 %-й киплячій азотній кислоті ($\rho=1410 \text{ кг/м}^3$), виробленій з особливо чистої кислоти марки ОСЧ-11-3 згідно з ГОСТ 11125–73 і дистильованої води. Тривалість випробування за всіма технічними умовами, окрім ТУ 14-1-2144–77, три цикли по 48 год на зразках у загартованому стані; згідно з ТУ 14-1-2144–77 тривалість випробувань – п'ять циклів по 48 год. Швидкість корозії не повинна перевищувати 0,5 мм/рік.

Згідно з ГОСТ 5582–75 сталь 03X17H14M3 має бути стійкою до МКК під час випробувань методом ДУ (ГОСТ 6032–89). Сталь, що випускається згідно з ТУ 14-1-1847–76, контролюється на стійкість до МКК методом АМУ (ГОСТ 6032–89). У всіх випадках стійкість до МКК контролюють на зразках у стані постачання, тобто після загартування.

Сталь 03X17H14M3 рекомендовано для виготовлення зварних конструкцій, що експлуатуються в умовах виробництва карбаміду, капролактаму, в киплячій фосфорній і 10 %-й оцтовій кислотах, а також у сірчаноокислих середовищах.

У виробництві карбаміду сталь 03X17H14M3 використовують для виготовлення колон синтезу, а у капролактамовому виробництві – реакторів окиснення циклогексану.

Фізичні властивості. Густина $\rho=7750 \text{ кг/м}^3$. Коефіцієнт теплопровідності за температури 20 °С $\lambda=29,4 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Модуль пружності під час розтягування за температур 20 і 300 °С становить $E=1,95\cdot 10^5$ і $E=1,9\cdot 10^5 \text{ МПа}$ відповідно. Коефіцієнт температурного відносного лінійного розширення в діапазонах температур 20...200 і 20...300 °С відповідно $\alpha=13,8\cdot 10^{-6}$ і $\alpha=14,4\cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$.

Зварювання. Сталь 03X17H14M3 має задовільну зварність всіма видами ручного та автоматичного зварювання.

Для ручного електродугового зварювання застосовують електроди марки ОЗЛ з дротом із сталі 03X17H14M2 (ЭП551). Під час автоматичного зварювання під шаром флюсу або в середовищі захисного газу використовують зварювальний дріт тієї самої марки. При цьому міцність і корозійна стійкість зварних швів не нижчі від таких самих показників основного металу.

Зварні з'єднання сталі 03X17H14M3 у середовищі синтезу карбаміду характеризуються швидкістю корозії 0,041...0,11 мм/рік, стійкі до МКК і не піддаються ножовій корозії.

Технологічні параметри. Сталь має високу пластичність під час гарячого та холодного формування. Гаряче пластичне деформування сталі 03X17H14M3 здійснюється в діапазоні температур 1150...900 °С.

Термічне оброблення. Для зняття наклепу після гарячого або холодного деформування заготовки піддають загартуванню від 1080±20 °С у воді.

Фізико-механічні властивості сталі 03X17H14M3 залежно від температури наведено в табл. 10.41.

Таблиця 10.41. Фізико-механічні властивості сталі 03X17H14M3 залежно від температури

t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
-196	1100	600	60	200	490	200	45
-100	800	380	70	400	510	280	30
-50	700	320	65	600	400	100	50
0	620	260	60	800	280	80	23

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, які наведено нижче.

Металургійний прокат із сталі 03X17H14M3Т виготовляють згідно з ГОСТ 5582-75 (лист тонкий), ТУ 14-1-240-74 (сорт), ТУ 14-1-692-73 (лист тонкий), ТУ 14-1-1154-74 (лист товстий), ТУ 14-1-1541-75 (лист товстий), ТУ 14-1-1847-76 (поковки), ТУ 14-1-2132-77 (трубна заготовка), ТУ 14-1-2134-77 (трубна заготовка), ТУ 14-1-2144-77 (лист товстий), ТУ 14-3-396-75 (труби гаряче- і холоднодеформовані).

10.5.3. Сталь 02X8H22C6 (ЭП 794)

Застосування. Сталь 02X8H22C6 призначено для зварного устаткування, що контактує з концентрованою азотною кислотою за високих температур (85 %-ва та вищих концентрацій до 100 °С).

Корозійна стійкість. Сталь найдоцільніше застосовувати в разі високих концентрацій азотної кислоти. Вона має підвищену стійкість до корозійного розтріскування в 42 %-му розчині $MgCl_2$. (табл. 10.42).

Таблиця 10.42. Швидкість корозії сталі 02X8H22C6 в азотній кислоті

HNO ₃ , %	мм/рік за температури, °C		HNO ₃ , %	мм/рік за температури, °C	
	90	100		90	100
65	0,33	0,71	85	0,11	0,20
75	0,23	0,50	98	0,05	0,14

Фізичні властивості. Густина $\rho = 7700 \text{ кг/м}^3$. Коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 13,4 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ за температури $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Модуль пружності під час розтягування за температури $20 \text{ }^\circ\text{C}$ становить $E = 1,78 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ (табл. 10.43).

Таблиця 10.43. Фізико-механічні властивості сталі 02X8H22C6 залежно від температури

t , °C	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	Температурний діапазон, °C	$\alpha \cdot 10^6$, K ⁻¹	t , °C	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	Температурний діапазон, °C	$\alpha \cdot 10^6$, K ⁻¹
100	1,74	20...100	12,3	600	1,4	20...600	16,6
200	1,64	20...200	14,4	700	1,32	20...700	—
300	—	20...300	—	800	1,22	20...800	17,4
400	1,52	20...400	15,7	900	—	20...900	17,9
500	—	20...500	—	1000	—	20...1000	18,0

Інженерні розрахунки на міцність потрібно виконувати з урахуванням механічних властивостей сталі, обумовлених наведеними нижче нормативними документами.

Металургійний прокат із сталі 02X8H22C6 виготовляють згідно з технічними умовами: ТУ 14-1-3164–83 (трубна заготовка), ТУ 14-1-3660–83 (трубна заготовка), ТУ 14-1-3801–84 (лист товстий), ТУ 14-1-3802–84 (лист тонкий), ТУ 14-3-1024–81 (труба), ТУ 14-3-3233–81 (зварювальний дріт).

Зварювання. Сталь 02X8H22C6 зварюється у ручному та автоматичному режимах. Для ручного електродугового зварювання використовують електроди марки ОЗЛ з дротом із сталі 02X17H14C4. Для автоматичного електродугового та ручного аргонодугового зварювання рекомендовано дріт із сталі 02X8H22C6. Швидкість корозії зварних з'єднань, виконаних різними способами, у 98 %-й азотній кислоті за температури $100 \text{ }^\circ\text{C}$ становить $0,22 \text{ мм/рік}$.

Технологічні параметри. Сталь добре піддається гнуттю і штампуванню у холодному і гарячому станах. Температурний діапазон гарячого пластичного деформування сталі 02X8H22C6 становить $1150 \dots 850 \text{ }^\circ\text{C}$.

Термічне оброблення. Сталь 02X8H22C6 потребує загартування від $1050 \text{ }^\circ\text{C}$ у воді. Час нагрівання та витримування задають із розрахунку 2 хв на 1 мм товщини напівфабрикату або виробу. Таке термічне оброблення забезпечує сталі оптимальне поєднання корозійної стійкості та механічних властивостей. Аналогічне термічне оброблення здійснюють і для зняття наклепу після гарячого та холодного пластичного деформування.

10.5.4. Сталь 03X21H21M4ГБ (ЭИ 35)

Застосування. Сталь 03X21H21M4ГБ призначено для зварного устаткування, що використовується у виробництвах екстракційної фосфорної кислоти напівгідратного та дигідратного способів і виробництва комплексних мінеральних добрив.

Із сталі 03X21H21M4ГБ виготовляють посудини, реакційні апарати, трубопроводи, сепаратори та інші конструкції. Ця апаратура може експлуатуватися під тиском до 7 МПа та під розрідженням за залишкового тиску не меншим від 670 Па.

Корозійна стійкість. Згідно з ГОСТ 5582–75, ГОСТ 7350–77 і ТУ 14-1-1190–75 сталь 03X21H21M4ГБ має бути стійкою до МКК під час випробувань методами В і ВУ (ГОСТ 6032–89). Перед випробуванням зразки, загартовані від 1100 °С, піддають провокуючому нагріванню протягом 1 год за температури 700 °С. Сталь, що виготовляють згідно з ТУ 14-1-160–71, щодо схильності до МКК не перевіряють.

Швидкість корозії сталі 03X21H21M4ГБ не перевищує першого бала в екстракційній фосфорній кислоті: 10...30 % до 100 °С, 31...49 % до 80 °С, 50...71 % до 110 °С; у термічній фосфорній кислоті: 10...79 % до 100 °С, 80...114 % до 120 °С, 115 % до 160 °С; у сірчаній кислоті: 10...20 % до 80 °С, 10 % з домішками SO₂ (7...9 %) до 30 °С, 95 % до 70 °С; у оцтовій кислоті 96 %-ї концентрації за температур до 120 °С.

Сталь 03X21H21M4ГБ має високу корозійну стійкість у середовищах виробництва борної кислоти. Так, швидкість корозії сталі в боратовій пульпі, що містить до 0,6 % H₂SO₄, 6,03 % B₂O₃ і 5,08 % MgO за температури 90 °С, становить не більше за 0,01 мм/рік.

Сталь 03X21H21M4ГБ у загартованому стані та її зварні з'єднання мають високу стійкість до загальної, міжкристалітної та точкової корозій у промислових середовищах виробництва екстракційної фосфорної кислоти (пульпа 32 % P₂O₅, 1,8 % F, 1,8 % SO₃, за температур 68...72 °С) та упареної фосфорної кислоти (пульпа 54 % P₂O₅, 0,3 % F, 1,2 % SO₂ за температур 80...90 °С), а також у середовищах виробництва ацетилцелюлози, вінілацетату, в середовищах варильних котлів сульфатцелюлози на кальцієвій, натрієвій, магнієвій і змішаних основах.

Із сталі 03X21H21M4ГБ виготовляють мішалки турбінного типу (висотою 4500 мм, діаметром 300 мм, $n=700$ об/хв.) для перемішування пульпи, що містить 31 % P₂O₅, 1,6...1,8 % F, 1,6...3 % SO₂ за температур 70...80 °С), сепаратори, екстрактори (діаметром до 800 мм і заввишки 5500 мм) у виробництвах екстракційної фосфорної кислоти з домішками іонів фтору.

Фізичні властивості. Густина $\rho=8000$ кг/м³. За температури 20 °С коефіцієнт теплопровідності $\lambda=17,2$ Вт/(м·К) і модуль пружності під час розтягування $E=1,8 \cdot 10^5$ МПа.

Фізико-механічні властивості сталі 03X21H21M4ГБ залежно від температури наведено в табл. 10.44.

Таблиця 10.44. Фізико-механічні властивості сталі 03X21H21M4ГБ залежно від температури

t , °C	λ , Вт/(м·К)	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	Температурний діапазон, °C	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
100	13,3	1,73	20...100	13,47
200	14,8	1,69	20...200	15,3
300	16,1	1,59	20...300	16,7
400	17,5	1,54	20...400	17,0
500	18,8	1,46	20...500	17,0
600	20,4	1,39	20...600	17,3
700	21,7	1,31	20...700	18,1
800	23,5	1,26	20...800	18,5
900	25,5	1,19	20...900	18,5

Зварювання. Сталь 03X21H21M4ГБ зварюється ручним електродуговим та аргонодуговим способами, а також в автоматичному режимі під шаром флюсу. Основною складністю зварювання сталі 03X21H21M4ГБ є схильність до утворення гарячих тріщин, імовірність появи яких збільшується зі зростанням сили зварювального струму, величини зазору в стику і під час виконання першого проходу.

Сталь завтовшки до 10 мм задовільно зварюється всіма видами ручного електродугового зварювання. Аргонодуговий метод рекомендовано застосовувати за товщин прокату до 6 мм і для зварювання кореневих швів за товщини прокату понад 10 мм. Прокат із сталі завтовшки понад 10 мм задовільно зварюється обома видами ручного дугового зварювання в разі зниженого вмісту ніобію в присадковому металі кореневих проходів шва. Для запобігання гарячим тріщинам у зварних з'єднаннях конструкцій завтовшки понад 10 мм кореневі шви необхідно зварювати зворотньо-ступеневим способом з використанням присадкових матеріалів без ніобію.

Для зварювання сталі завтовшки понад 12 мм рекомендовано застосовувати комбінований метод (аргонодуговий і ручний електродуговий). У разі зварювання стиків з U-подібними кромками останні необхідно формувати з боку дії корозійного середовища. Шви, повернені до корозійного середовища, потрібно виконувати в останню чергу і тільки електродом марки ОЗЛ-17У.

Для ручного електрозварювання сталі 03X21H21M4ГБ завтовшки до 10 мм і для заповнення простору між обробленими кромками за товщини прокату понад 10 мм рекомендовано електроди марок ОЗЛ-17У, ОЗЛ-26А, АНВ-17 із дроту Св-01Х19Н18Г10АМ4; для кореневих проходів прокату товщиною понад 10 мм – електроди ОЗЛ-26А із дроту 03Х21Н21М4 з покриттям без ніобію, ОЗЛ-17У із дроту Св-03Х23Н28МЗДТ теж з покриттям без ніобію. Для зварювання сталі 03Х21Н21М4ГБ зі сталями 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М2Т, сталями Ст3, 20К – електроди ЭА-395/9.

Для ручного електродугового зварювання прокату завтовшки до 10 мм електродом, що не плавиться, та для заповнення простору між обробленими кромками заготованок завтовшки понад 10 мм рекомендовано дріт Св-03Х23Н28М3ДЗТ і дріт Св-02Х21Н21МГ4Б (ЭИ69), для корневих проходів зварних швів прокату завтовшки понад 10 мм – дріт Св-03Х21Н21М4 (ЭИ87). Для автоматичного зварювання рекомендовано дріт Св-01Х19Н18Г10АМ4 (ЭП87) і флюс АН-18.

Технологічні параметри. Сталь добре деформується в холодному та гарячому станах. Для гнуття заготованок із листової сталі завтовшки понад 5 мм у холодному або гарячому станах мінімальні радіуси гнуття мають бути не меншими від двох товщин листа.

Температурний діапазон прокатування становить 1200...850 °С, штампування – 1160...900 °С.

Термічне оброблення. Сталь 03Х21Н21М4ГБ потребує загартування у воді від 1060...850 °С. Аналогічне термічне оброблення застосовують для зняття наклепу після холодного або гарячого деформування.

Механічні властивості сталі 03Х21Н21М4ГБ залежно від температури наведено в табл. 10.45.

Таблиця 10.45. Механічні властивості сталі 03Х21Н21М4ГБ залежно від температури

t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/м ²	t , °С	σ , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/м ²
-190	1200	650	59	59	130	200	560	230	41	61	240
-100	830	430	60	71	180	300	560	190	40	65	300
-60	770	400	62	70	150	400	540	200	40	61	230
0	700	340	49	71	280	500	540	190	37	56	200
20	670	330	49	67	240	600	490	200	43	57	210
100	590	230	43	66	260	700	360	180	36	54	200

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат із сталі 03Х21Н21М4ГБ випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 5582–84 (лист тонкий), ГОСТ 7350–77 (лист товстий), ТУ 14-1-160–71 (зварювальний дріт), ТУ 14-1-1190–75 (сорт).

10.5.5. Сплав 06ХН28МДТ (ЭИ 943)

Хімічний склад (масова частка), %: C ≤ 0,06; Si, Mn ≤ 0,8; Cr 22...25; Ni 26...29; Ti 0,5...0,9; Mo 2,5...3,0; Cu 2,5...3,5; S ≤ 0,02; P ≤ 0,035.

Після термічного оброблення (загартування) сплав має чисту аустенітну структуру.

Застосування. Сплав 06ХН28МДТ призначається для роботи в умовах виробництва сірчаної кислоти будь-якої концентрації за температур до 80 °С,

складних мінеральних добрив, екстракційної фосфорної кислоти та інших середовищ підвищеної агресивності.

Сплав використовують для виготовлення зварної хімічної апаратури – реакторів, теплообмінників, трубопроводів, посудин і різної трубопровідної арматури.

Корозійна стійкість. Згідно з ГОСТ 4986–78, ГОСТ 5949–75, ГОСТ 7350–77 сплав 06ХН28МДТ має бути стійким до МКК за результатами випробувань методами В і ВУ (ГОСТ 6032–89) з тривалістю витримування в контрольному розчині відповідно 144 і 48 год. ГОСТ 5582–78 передбачає випробування тільки методом В. Перед випробуванням сплав піддають провоючому нагріванню за температури 700 °С протягом 20 хв за нормами ГОСТ 5949–75, ГОСТ 7350–77 і нагріванню протягом 1 год за температури 650 °С за нормами ГОСТ 5582–75.

Сплав 06ХН28МДТ має швидкості корозії в сірчаній кислоті за температури 80 °С, що визначені на базі випробувань протягом 100 год (табл. 10.46).

Таблиця 10.46. Значення швидкості корозії сплаву 06ХН28МДТ у сірчаній кислоті від температури

H ₂ SO ₄ , %	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$v_{\text{кор}}, /(\text{м}^2 \cdot \text{год})$	0,015	0,008	0,23	0,14	0,009	0,20	1,14	0,31	0,27

Фізичні властивості. Густина $\rho = 7960 \text{ кг/м}^3$. Коефіцієнт теплопровідності за температури 20 °С становить $\lambda = 13,4 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

Коефіцієнт теплопровідності λ і коефіцієнт відносного температурного розширення α залежно від температури наведено в табл. 10.47.

Таблиця 10.47. Фізико-механічні властивості сплаву 06ХН28МДТ залежно від температури

$t, ^\circ\text{C}$	$\lambda, \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$	Температурний діапазон, °С	$\alpha \cdot 10^6, \text{К}^{-1}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\lambda, \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$	Температурний діапазон, °С	$\alpha \cdot 10^6, \text{К}^{-1}$
100	13,4	200...100	10,90	600	24,1	20...600	15,25
200	15,1	20...200	12,85	700	25,4	20...700	15,80
300	17,1	20...300	13,60	800	26,1	20...800	16,25
400	22,7	20...400	14,40	900	–	20...900	16,80
500	23,7	20...500	14,85				

Зварювання. Сплав 06ХН28МДТ зварюється ручним та автоматичним способами в захисному газі та під шаром флюсу.

Для ручного електродугового зварювання застосовують електроди ОЗЛ-17У і ОЗЛ-37-2 зі стрижнем із дротів Св-03ХН25МДГБ і Св-03ХН25МДГ. Для автоматичного під шаром флюсу та аргонодугового зварювання застосовують такий самий присадковий матеріал. Флюс рекомендовано марки АН-18.

Зварні з'єднання сплаву 06ХН28МДТ задовільно протидіють сірчаній кислоті в широкому діапазоні концентрацій за температури до 80 °С

Технологічні параметри. Температурний діапазон гарячого пластичного деформування під час прокатування, кування та штампування становить 1170...900 °С.

Сплав 06ХН28МДТ задовільно оброблюється різанням.

Термічне оброблення. Сплав 06ХН28МДТ потребує загартування у воді від 1050...1080 °С. Завдяки такому обробленню сплав набуває оптимального сполучення корозійностійких і механічних властивостей, а також повністю усуваються наслідки попередньої гарячого або холодного пластичного деформування.

Механічні властивості сплаву 06ХН28МДТ залежно від температури наведено в табл. 10.48.

Таблиця 10.48. Фізико-механічні властивості сплаву 06ХН28МДТ залежно від температури

t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	КСУ, Дж/м ²
-196	—	—	—	—	—	200
20	620	270	55	78	2,02	350
200	550	210	45	65	1,86	350
400	550	180	50	60	1,71	350
600	500	150	45	60	1,56	350

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат із сплаву 06ХН28МДТ випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 4986–68 (стрічка), ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 5949–75 (сорт), ГОСТ 7350–77 (лист товстий).

10.5.6. Сплав 03ХН28МДТ (ЭП 516)

Хімічний склад (масова частка), %: С ≤ 0,03; Мп ≤ 0,8; Сг 22...25; Ні 26...29; Ті ≤ 0,5...0,9; Мо 2,5...3,0; Сu 2,5...3,5; S ≤ 0,02; Р ≤ 0,035.

Застосування. Сплав 03ХН28МДТ використовують для виготовлення устаткування виробництв сірчаної кислоти будь-якої концентрації за температури до 80 °С, нітрофоски, екстракційної фосфорної кислоти та інших хімічних продуктів підвищеної агресивності.

Основна відмінність сплаву 03ХН28МДТ від сплаву 06ХН28МДТ полягає у вищій стійкості до МКК в основному металі та зварних швах.

Корозійна стійкість. За вимогами ГОСТ 5949–75, ГОСТ 7350–77 сплав 03ХН28МДТ має бути стійким до МКК під час випробувань методами В і ВУ (ГОСТ 6032–89) з тривалістю витримування в контрольному розчині відповідно 144 і 48 год. Нормами ТУ 14-242-122–75 передбачено випробування методами В і ВУ. Випробування на схильність до МКК здійснюють після провокуючого нагрівання за температури 700 °С протягом 60 хв (ГОСТ 5949–75,

ГОСТ 7350–77, ТУ 14-242-122–75) і 20 хв (ТУ 14-1-756–73).

Стійкість сплаву 03ХН28МДТ до загальної та інших видів корозії (крім МКК) аналогічна стійкості сплаву 06ХН28МДТ.

Із сплавів 03ХН28МДТ виготовляють для виготовлення зварні екстрактори для роботи в умовах напівгідратного процесу отримання екстракційної фосфорної кислоти, наприклад, з апатитів Кольського півострову. У цьому разі рідка фаза пульпи містить 35...49 % P_2O_5 , 0,9...1,2 % SO_2 і 1,6... 2,1 % F. Температура процесу становить 90...95 °С, співвідношення твердої й рідкої фаз – 1,6:2,0.

Фізичні властивості аналогічні фізичним властивостям сплаву 06ХН28МДТ.

Зварювання. Сплав 03ХН28МДТ задовільно зварюється електродуговим та аргонодуговим способами у ручному та автоматичному режимах.

Основна складність зварювання цього сплаву – його схильність до утворення гарячих тріщин, яка посилюється з підвищенням сили струму, збільшенням товщини зварюваного металу та величини зазору в стику.

Ручне аргонодугове зварювання застосовують за товщини листа 10...20 мм. Лист завтовшки до 10 мм задовільно зварюється ручним електродуговим способом.

За товщини, більшої за 10 мм, у випадку електродугового зварювання для кореневих проходів потрібно використовувати електроди ОЗЛ-17У без ніобію. Крім того, для зварювання листів завтовшки понад 10 мм можна застосовувати комбінований метод: аргонодуговим методом заповнюють кореневу частину зварного шва присадковим дротом, решту – електродами.

Для автоматичного зварювання застосовують флюс з металевим порошком.

За всіх видів зварювання шви, повернені до корозійного середовища, потрібно заварювати в останню чергу.

Для будь-якого виду зварювання заготованок із сплаву 03ХН28МДТ присадковим матеріалом має бути дріт Св-01ХН28МДТ. Для ручного електродугового зварювання застосовують електроди марок ОЗЛ-17У, для автоматичного електродугового зварювання – флюс АН-18.

Металургійний прокат із сплаву 03ХН28МДТ випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 5949–75 (сорт), ГОСТ 7350–77 (лист товстий), ТУ 14-1-756–73 (лист тонкий), ТУ 14-242-122–75 (труби).

10.5.7. Сталь 03Х18Н20С3М3Д3Б (ЭП 667)

Застосування. Сталь 03Х18Н20С3М3Д3Б рекомендовано для виготовлення зварної хімічної апаратури, що контактує переважно з розчинами сірчаної кислоти.

Корозійна стійкість. Сталь 03Х18Н20С3М3Д3Б є стійкою до МКК після загартування у воді від 1050...1100 °С і провокуючого нагрівання в діапа-

зоні 650...800 °С протягом 1 год під час випробувань методом ВУ (ГОСТ 6032–89).

Корозійна стійкість сталі у загартованому стані в розчинах сірчаної кислоти будь-якої концентрації (тривалість випробувань 100 год) за температури 80 °С наведено в табл. 10.49.

Таблиця 10.49. Значення корозійної стійкості сталі 03X18H20C3M3ДЗБ у загартованому стані у розчинах сірчаної кислоти (тривалість випробувань 100 год) за температури 80 °С

H ₂ SO ₄ , %	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\nu_{\text{кор}}, /(\text{м}^2 \cdot \text{год})$	0,003	0,009	0,024	0,022	0,09	0,06	0,055	1,3	0,28	0,66

У загартованому стані сталь не схильна до розтріскування в розчині 25 % NaCl і 0,5 % K₂Cr₂O₇ за температури 216 °С і тиску 1,6 МПа, а також у 3,5 %-му розчині хлористого натрію за температури 40 °С зі змінним зануренням протягом 700 год випробувань.

Фізичні властивості. Густина $\rho = 7828 \text{ кг/м}^3$. Модуль пружності під час розтягування $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$. Значення коефіцієнта теплопровідності λ , температурного відносного лінійного розширення α залежно від температури наведено в табл. 10.50.

Таблиця 10.50. Фізичні властивості сталі 03X18H20C3M3ДЗБ залежно від температури

t , °С	λ , Вт/(м·К)	Температурний діапазон, °С	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹	t , °С	λ , Вт/(м·К)	Температурний діапазон, °С	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
100	11,0	20...100	13,82	600	19,3	20...600	18,25
200	12,3	20...200	15,85	700	21,4	20...700	18,62
300	14,6	20...300	17,15	800	22,9	20...800	19,32
400	16,0	20...400	17,49	900	24,1	20...900	19,45
500	17,6	20...500	17,8	—	—	20...1000	19,45

Зварювання. Сталь 03X18H20C3M3ДЗБ добре зварюється ручним електродуговим способом електродами ОЗЛ-17.

Технологічні параметри. Сталь має відмінні технологічні властивості для гарячого пластичного деформування та задовільні – під час холодного.

Температурний діапазон гарячого пластичного оброблення становить 1150... 900 °С.

Термічне оброблення. Оптимальний режим – загартування у воді від 1050... 1100 °С, яке забезпечує найвищу корозійну стійкість і знімає внутрішні напруження після наклепу.

Сталь 03X18H20C3M3ДЗБ виготовляють у вигляді товстого листа 10...20 мм, завширшки 1000...1400 мм, завдовжки 3000...6000 мм згідно з ТУ 14-1-1799–76.

10.6. Високоміцні сталі та сплави

Висока міцність корозійностійких сталей і сплавів залежно від їх хімічного складу може бути досягнута за рахунок утворення продуктів мартенситного перетворення та їх наступного старіння, процесів дисперсійного твердіння γ -твердого розчину, уведення легувальних елементів, здатних підвищити твердість основи.

У сталях мартенситного класу потрібна для зміцнення кількість мартенситної фази утворюється після високотемпературного нагрівання з охолодженням до кімнатної температури, але можливості протикорозійного легування мартенситних сталей обмежені.

У сталях аустенітно-мартенситного (перехідного) класу з більш високим рівнем легування загартування до кімнатної температури не призводить до суттєвого переходу аустеніту в мартенсит. У цих сталях $\gamma \rightarrow \alpha$ – перетворення можливе трьома різними способами: а) обробленням холодом; б) пластичним деформуванням; в) нагріванням в інтервалі найбільш інтенсивного виділення легованих карбідів (700...750 °C). Останній спосіб може бути реалізованим за достатнього вмісту вуглецю в сталі.

Сталі аустенітно-мартенситного класу допускають вищий рівень легування і тому мають більші можливості для досягнення певної загальної корозійної стійкості та високого рівня міцності.

Таким чином, властивості сталі мартенситного та аустенітно-мартенситного класів суттєво залежать від їх структурного стану, а саме – співвідношення γ - та α -фаз.

Недоліком більшості сталей мартенситного та аустенітно-мартенситного класів є знижена стійкість до корозійного розтріскування, що часто не дозволяє реалізувати їх високу міцність.

Значно більші можливості щодо легування облагороджувальними елементами має інший клас корозійностійких матеріалів з високою міцністю – сплави на основі заліза та нікелю, що твердіють дисперсійно. Як приклад можна навести сплави 04ХН40МДТЮ ($C \leq 0,4\%$; 14...17 % Cr; 39...42 % Ni; 2,5...3,2 % Ti; 0,7 % Al; 4,5...6 % Mo; 2,7...3,3 % Cu) і 40Н40КХТЮМД ($C \leq 0,5\%$; 19...21 % Cr; 39...41 % Ni; 19...21Co; 7,5...8,5 % Mo; 2,8...3,2 % Ti; 1,4...1,8 % Al; 1,8...2,2 % Cu), розроблені спеціально для роботи в сірчаній кислоті та середовищах із умістом водню.

В обох випадках висока корозійна стійкість, які і стійкість до корозійного розтріскування, досягаються високим рівнем легування хромом, нікелем, молібденом і міддю.

Зміцнення досягається внаслідок старіння в діапазоні температур 600...800 °C з виділенням γ -фази типу $Ni_3(Ti, Al)$.

10.6.1. Сталь 07X16H6 (ЭП 288)

Застосування. Сталь 07X16H6 застосовують як високоміцний корозійностійкий матеріал для виготовлення металовиробів зокрема зварних, які піддаються дії середовищ відносно малої агресивності.

Сталь 07X16H6 використовують для несучих деталей, які тривалий час експлуатуються за температур до 400 °С і нетривалий час до 500 °С у контакті з паливом або в атмосферних умовах.

Сталь 07X16H6 застосовують також для важконавантажених деталей у кріогенній техніці, що експлуатуються за температур до мінус 253 °С.

Корозійна стійкість. Згідно з ГОСТ 5582–75 і ГОСТ 5949–75 сталь 07X16H6 може постачатись лише після контролю на стійкість до МКК методами АМ або АМУ (ГОСТ 6032–89) з тривалістю випробувань відповідно 15 і 8 год. Режими попереднього термічного оброблення перед випробуванням на стійкість до МКК узгоджуються між виробником і замовником.

Сталь 07X16H6 застосовують для виготовлення роторів хімічних відцентрових сепараторів, кріпильних деталей, що експлуатуються в діапазоні температур від мінус 60 до 350 °С.

Фізичні властивості. Густина $\rho=7800$ кг/м³. Модуль пружності під час розтягування $E=1,99 \cdot 10^5$ МПа за температури 20 °С, $E=2,05 \cdot 10^5$ МПа за температури мінус 70 °С, $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа за температури мінус 196 °С (табл. 10.51).

Таблиця 10.51. Фізичні властивості сталі 7X16H6 залежно від температури

t , °С	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹	t , °С	λ , Вт/(м·К)	c , Дж/(кг·К)
—	—	-193	8,0	0,18
—	—	20	16,8	400
—	—	100	17,6	440
20...200	11,7	200	19,0	500
20...300	12,1	300	20,0	550
20...400	12,5	400	22,0	590
20...500	12,9	500	23,0	630
20...600	—	600	25,0	670
20...700	—	700	26,0	710

Зварювання. Сталь 07X16H6 добре зварюється ручним та автоматичним аргонотуговим, точковим і роликовим зварюванням.

Технологічні параметри. Сталь технологічна при холодному штампуванні, гнутті, вальцюванні, оскільки має високий запас пластичності після пом'якшуючого термічного оброблення, яка полягає у загартуванні у воді або нормалізації від 975...1000 °С. Сталь також добре деформується у гарячому стані в діапазоні 1200...800 °С з наступним охолодженням на повітрі.

Термічне оброблення. Оптимальна корозійна стійкість сталі 07X16H6 досягається після загартування від 1000...1050 °С у воді, оброблення холодом за температури мінус 70 °С протягом 2 год і відпуску за температур 360...380 °С. Для забезпечення найвищих механічних властивостей ($\sigma_B \geq 1100$ МПа, $\sigma_{0,2} \geq 850$ МПа, $\delta \geq 12$ %, КСЧ ≥ 70 Дж/м²) рекомендована термічне оброблення: загартування від 975...1000 °С у воді або на повітрі; оброблення холодом за температури мінус 70 °С протягом 2 год, за температури мінус 50 °С протягом 4 год, відпуск за температур 350...400 °С.

Механічні властивості сталі 07X16H6 за підвищених температур після загартування від 1000 °С у воді, оброблення холодом за температур мінус 70 °С протягом 2 год і відпускання за температури 350 °С наведено в табл. 10.52.

Таблиця 10.52. Механічні властивості сталі 07X16H6 від температури (після загартування від 1000 °С у воді, оброблення холодом за температур мінус 70 °С протягом 2 год і відпускання за температури 350 °С)

$t, ^\circ\text{C}$	20	450	500	550	600
$\sigma_B, \text{МПа}$	1100	1070	800	550	430
$\sigma_{0,2}, \text{МПа}$	900	850	700	500	350

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат із сталі 07X16H6 випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ГОСТ 5949–75 (сорт круглий, квадратний), ГОСТ 7350–77 (лист товстий), ТУ 14-1-182–74 (лист товстий), ТУ 14-1-205–74 (сорт круглий, квадратний), ТУ 14-1-242–74 (лист тонкий), ТУ 14-1-763–73 (лист товстий), ТУ 14-1-946–74 (сорт круглий, квадратний), ТУ 14-1-997–74 (дріт зварювальний), ТУ 14-1-1530–75 (поковки круглі, квадратні), ТУ 14-1-1558–76 (лист тонкий), ТУ 14-1-1660–70 (сорт круглий, квадратний), ТУ 14-1-2013–77 (трубна заготовка), ТУ 14-1-2375–77 (трубна заготовка), ТУ 14-1-2476–78 (лист тонкий), ТУ 14-1-2902–80 (прутки калібровані), ТУ 14-1-2918–80 (поковки круглі, квадратні, прямокутні).

10.6.2. Сталь 09X15H8Ю (ЭИ 904)

Застосування. Сталь 09X15H8Ю використовують як високоміцний корозійностійкий матеріал для експлуатації в атмосферних умовах і середовищах малої агресивності.

Корозійна стійкість. Стійкість до МКК належить контролювати методами АМ та АМУ (ГОСТ 6032–89). Режим термічного оброблення сталі, що піддається контролю на МКК, у стані постачання узгоджується між заводом-виробником і замовником.

Оптимальне сполучення корозійної стійкості та механічних властивостей сталі 09X15H8Ю має після загартування від 950...1000 °С у воді або на

повітрі, оброблення холодом за температури мінус 70 °С протягом 2 год і старіння за температури 350...380 °С ($\sigma_B=1150$ МПа, $\sigma_{0,2}=900$ МПа, $\delta=12$ %). Після такого оброблення сталь має швидкість корозії в киплячому 65 %-му розчині азотної кислоти 1,54 мм/рік. Підвищення температури старіння сприяє підвищенню міцності, але корозійна стійкість при цьому знижується.

Холодна пластична деформація сталі 09X15H8Ю до 60 %, унаслідок чого утворюється до 75 % мартенситу, з наступним старінням за температури 350...380 °С не знижує корозійної стійкості.

Найвищу корозійну стійкість деталі із сталі 09X15H8Ю мають після шліфування та полірування.

Сталь 09X15H8Ю застосовують для виготовлення клапанних пластин прямотечієвих, тарілчастих і смугових клапанів компресорів. Для виготовлення пружин використовують дріт з нагартуванням на 50...80 %.

Фізичні властивості. Густина $\rho=7750$ кг/м³ (м'який матеріал), 7660 кг/м³ (зміцнений). Модуль пружності під час розтягування за температур 20 і 50 °С $E=1,95 \cdot 10^5$ і $E=1,6 \cdot 10^5$ МПа відповідно (після загартування від 950 °С у воді або на повітрі, оброблення холодом за температури мінус 70 °С протягом 2 год і старіння протягом 1 год).

Коефіцієнти теплопровідності λ , температурного відносного лінійного розширення α і масова теплоємність c залежно від температури наведено в табл. 10.53.

Таблиця 10.53. Фізичні властивості сталі 09X15H8Ю залежно від температури

$t_{\text{вип}},$ °С	$c,$ Дж/(кг·К)	$\lambda,$ Вт/(м·К)	Температурний діапазон, °С	$\alpha \cdot 10^6,$ К ⁻¹
20	—	15,9	—	—
100	462	16,8	20...100	10,3
200	504	18,0	20...200	11,9
300	588	19,3	20...300	12,2
400	630	20,5	20...400	12,5
500	735	21,8	20...500	12,7
600	840	22,2	20...600	—
700	777	22,2	20...700	—
800	693	23,1	20...800	—
900	—	24,3	—	—

Зварювання. Сталь 09X15H8Ю зварюється всіма видами зварювання.

Технологічні параметри. Сталь добре деформується в гарячому стані в діапазоні температур 1180...850 °С. Для заготовок великого перерізу (більшою за 150 мм) після гарячого пластичного деформування рекомендоване уповільнене охолодження.

Сталь у м'якому стані (після загартування від 1050 °С), а також після загартування від 950...975 °С з наступним обробленням холодом за температури мінус 70 °С протягом 2 год теж має задовільні технологічні властивості і в

разі холодного пластичного деформування.

Термічне оброблення. Залежно від мети використання різними способами проміжного або остаточного термічного оброблення сталі 09X15H8Ю можуть бути: проміжне термічне оброблення між операціями холодного штампування для пом'якшення листового матеріалу; загартування від 1050 °С на повітрі, відпалювання за температури 760 °С протягом 2 год з охолодженням на повітрі або відпалювання за температури 650 °С з охолодженням на повітрі для полегшення оброблення різанням; остаточне зміцнювальне термічне оброблення деталей і зварних вузлів, яке включає:

а) загартування з охолодженням на повітрі для деталей товщиною, меншою за 8 мм, або у воді за товщини деталей понад 8 мм; для деталей, що виготовляються із прутків або поковок, температура загартування 975...1000 °С з тривалістю витримування з розрахунку 1 хв на 1 мм діаметра; для деталей, що виготовляються із листів або штампованих профілів, температура загартування 950...975 °С, тривалість витримування – із розрахунку 1 хв на 1 мм товщини;

б) оброблення холодом за температури мінус 70 °С з витримуванням протягом 2 год і за температури мінус 50 °С з витримуванням протягом 4 год; перед оброблення холодом не допускається нагрівання деталі до 100...550 °С і тривала дія знижених температур (від 0 до мінус 40 °С), а також малі пластичні деформації; під час оброблення холодом розміри деталей збільшуються порівняно із загартованим станом на 4 мм/м для листа та для пруткового матеріалу на 2...3 мм/м;

в) старіння за температури 350...500 °С з витримуванням протягом 12 год та охолодженням на повітрі.

Залежність значень величини тимчасового опору сталі 09X15H8Ю від температури старіння наведено в табл. 10.54.

Таблиця 10.54. Залежність значення величини тимчасового опору сталі 09X15H8Ю від температури старіння

$t, ^\circ\text{C}$	350...375	499	425
$\sigma_B, \text{МПа}$	1100	1200	1250

Зміцнювальне термічне оброблення зварних деталей або вузлів проводять за режимами для деталей, які виготовляють із прутків. Якщо після зварювання неможливо провести старіння, його провадять до зварювання.

Металургійний прокат із сталі 09X15H8Ю випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 4986–70 (стрічка), ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ТУ 14-1-1530–75 (поковки), ТУ 14-1-1831–76 (сорт), ТУ 14-1-2410–78 (стрічка).

10.6.3. Сталь 08X17H5M3 (ЭИ 925)

Застосування. Сталь 08X17H5M3 використовують як корозійностійкий матеріал в умовах середовищ середньої агресивності, в атмосферних умовах і

як жароміцний матеріал до температури 550 °С у разі короткотривалої й до 500 °С тривалої роботи деталей.

Корозійна стійкість. Стійкість сталі 08X17H5M3 до МКК контролюють методами АМ та АМУ (ГОСТ 6032–89). Режим термічного оброблення зразків, які піддають випробуванню, узгоджується між виробником і замовником.

За стійкістю до загальної корозії сталь перевищує сталі 07X16H6 і 09X15H8Ю, оскільки сталь 08X17H5M3 має високу корозійну стійкість в атмосферних умовах і в морській воді.

У хімічному машинобудуванні сталь 08X17H5M3 використовують для виготовлення циліндрів насосів, які контактують з карбоматом за температури 80...100 °С і під тиском 1,7...20 МПа. У цьому середовищі сталь має такі показники корозійної утоми (в дужках – для зразків з надрізом радіусом 0,3 мм і глибиною 0,5 мм, без дужок – для гладких зразків): 350 МПа (200 МПа) після загартування від 1050 °С; 465 МПа (200 МПа) після загартування від 1050 °С з наступними обробленням холодом за температури мінус 70 °С протягом 2 год і старінням за температури 350 °С протягом 2 год.

Фізичні властивості. Густина $\rho=7880$ кг/м³. Коефіцієнти теплопровідності λ , температурного відносного лінійного розширення α і масова теплоємність c сталі 08X17H5M3 наведено в табл. 10.55.

Таблиця 10.55. Фізичні властивості сталі 08X17H5M3 залежно від температури

$t_{\text{вип}},$ °С	$c,$ Дж/(кг·К)	$\lambda,$ Вт/(м·К)	Температурний діапазон, °С	$\alpha \cdot 10^6,$ К ⁻¹
20	420	15,9	–	–
100	462	17,2	–	–
200	504	18,9	20...200	10,9
300	546	20,5	20...300	11,4
400	609	22,2	20...400	11,9
500	672	23,9	20...500	12,4
600	–	25,2	20...600	12,4
700	–	26,8	–	–
800	–	28,5	–	–
900	–	30,6	–	–

Зварювання. Сталь 08X17H5M3 добре зварюється у м'якому та зміцненому станах ручним, автоматичним аргонодуговим та контактним способами. Сталь технологічна для виготовлення паяних конструкцій.

Технологічні параметри. Сталь 08X17H5M3 задовільно деформується в гарячому стані. Температурний діапазон пластичного деформування становить 1050... 850 °С. Охолодження виробів за розмірів поперечних перерізів, більших за 150 мм, має бути уповільненим.

Термічне оброблення. Для кращої оброблюваності різанням заготовки потрібно піддавати відпалу за температури 760 °С протягом 1,5 год.

Механічні властивості сталі 08X17H5M3 наведено в табл. 10.56.

Таблиця 10.56. Фізичні властивості сталі 08X17H5M3 залежно від температури

t , °C	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	t , °C	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
20	1200	800	8	500	950	650	--
400	1100	850	--	550	700	500	10
450	1050	800	7	600	500	400	--

Примітки: 1. Властивості залежать від виду прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат із сталі 08X17H5M3 випускається згідно з нормативними документами: ГОСТ 5582–75 (лист тонкий), ТУ 14-1-1831–76 (сорт), ТУ 14-1-2127–77(лист тонкий), ТУ 14-1-2128–77 (лист товстий), ТУ 14-1-2410–78 (стрічка).

10.6.4. Сталь 04X25H5M2 (ДИ 62)

Застосування. Сталь 04X25H5M2 використовують для виготовлення важконавантажених сепараторів, які призначаються для хімічної промисловості.

Сталь розроблено для незварних конструкцій.

У діапазоні 400...450 °C у сталі розвиваються процеси окрихчування (475-градусна крихкість).

Корозійна стійкість. Згідно з ТУ 14-1-1847–76 сталь 04X25H5M2 у загартованому стані має бути не схильною до МКК під час випробувань методами АМ та АМУ (ГОСТ 6032–89). Сталь не схильна до МКК після провокуючого нагрівання в діапазоні температур 400...700 °C тривалістю до 25 год і має високу стійкість до точкової корозії.

Фізичні властивості. Густина $\rho=7870$ кг/м³. Коефіцієнти теплопровідності λ , температурного відносного лінійного розширення α наведено в табл. 10.57.

Таблиця 10.57. Фізичні властивості сталі 04X25H5M2 залежно від температури

t , °C	λ , Вт/(м·K)	Температурний діапазон, °C	$\alpha \cdot 10^6$, K ⁻¹	t , °C	λ , Вт/(м·K)	Температурний діапазон, °C	$\alpha \cdot 10^6$, K ⁻¹
100	15,5	20...100	11,75	600	22,8	20...600	16,5
200	17,1	20...200	12,8	700	24,2	20...700	15,5
300	18,4	20...300	14,5	800	25,9	20...800	16,5
400	20,1	20...400	15,5	900	27,8	20...900	15,85
500	21,5	20...500	15,15				

Технологічні властивості. Сталь 04X25H5M2 піддається гарячому пластичному деформуванню. Діапазон температур такого оброблення становить 1180...900 °C. Сталь 04X25H5M2 постачають у вигляді пресових

поковок, розміри та масу яких встановлюють за домовленістю відповідно до нормативного сортаменту. Поковки призначаються для механічного оброблення або гарячого штампування.

Термічне оброблення. Оптимальне сполучення механічних властивостей і корозійної стійкості забезпечує загартування від $(1000+20)^\circ\text{C}$ з охолодженням на повітрі. Ця операція також забезпечує зняття наклепу після гарячого пластичного деформування.

Механічні властивості сталі 04X24H5M2 визначаються на термічно оброблених зразках, виготовлених з двох проб профілю. Рекомендоване термічне оброблення зразків: загартування від температури $(1000+20)^\circ\text{C}$ з охолодженням на повітрі.

Механічні властивості сталі 04X25H5M2 за температури 20°C : $\sigma_{\text{в}} \geq 640 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} \geq 490 \text{ МПа}$, $\delta \geq 20 \%$, $\text{KCU} \geq 20 \text{ Дж/м}^2$.

Поковки постачаються згідно з ТУ 14-1-4582–89.

10.6.5. Сплав ХН40МДТЮ (ЭП 543)

Застосування. Високоміцний сплав ХН40МДТЮ використовують для виготовлення різної хімічної апаратури, що під час роботи водночас піддається дії агресивного середовища та механічних напружень, і для виготовлення пружночутливих елементів (мембран, сильфонів, пружин), які експлуатуються у високоагресивних середовищах за підвищених температур. Сплав має високу корозійну стійкість у розчинах сірчаної та фосфорної кислот, у газоконденсатних середовищах з підвищеним умістом сірководню та вуглецевого газу.

Хімічний склад (масова частка), %: $\text{C} \leq 0,04$; $\text{Si} \leq 0,5$; $\text{Mn} \leq 0,5$; $14...17 \text{ Cr}$; $39,0...42,0 \text{ Ni}$; $2,5...3,2 \text{ Ti}$; $0,7 \text{ Al}$; $4,5...6,0 \text{ Mo}$; $2,7...3,3 \text{ Cu}$; $\text{S} \leq 0,02$; $\text{P} \leq 0,035$.

Корозійна стійкість. Сплав ХН40МДТЮ має високу стійкість проти загальної корозії в розчинах сірчаної кислоти концентрацією до 60 % за температури до 80°C . При цьому мінімальна стійкість 0,15...0,2 мм/рік відповідає концентрації сірчаної кислоти 20...30 %. Підвищення концентрації сірчаної кислоти від 20 до 50 % зумовлює зменшення швидкості корозії.

У розчинах фосфорної кислоти концентрацією до 70 % за температури до 80°C швидкість корозії сплаву ХН40МДТЮ не перевищує 0,05 мм/рік. Сплав можна використовувати в контакт з поліфосфорною кислотою концентрацією 100 % за підвищених температур (швидкість корозії за температури 135°C у газовій фазі менша за 0,007 мм/рік, у рідкій – 0,15 мм/рік) з 10 %-ю фтористоводневою кислотою за температури 70°C (швидкість корозії сплаву становить 0,11 мм/рік).

Сплав ХН40МДТЮ не схильний до корозійного розтріскування в киплячому 42 %-му розчині MgCl_2 за значення напружень, що дорівнюють $(0,75...1,2)\sigma_{0,2}$ і $0,9\sigma_{\text{в}}$, а також у технологічних розчинах кисневих сполук хло-

ру, які містять 200 г/л NaCl та окисник за температури 90 °С.

Сплав застосовують для апаратурного облаштування газоконденсатних родовищ з умістом у природному газі сірководню до 6 %, вуглецевого газу до 6 %. Швидкість корозії сплаву в дистилаті, насиченому сірководнем, за температури до 70 °С і тиску до 1,7 МПа, не більша за 0,003 мм/рік.

Наведені випробування корозійної стійкості проводились на зразках, які отримали максимальне зміцнення, тобто які були піддані старінню за температури 650 °С протягом 5 год з охолодженням безпосередньо після гарячого пластичного деформування.

Швидкість корозії сплаву в розчинах сірчаної кислоти концентрацією від 10 до 60 % за температури до 80 °С незалежно від структурного стану низька і не перевищує 0,16 г/(м²·год).

Фізичні властивості. Густина $\rho=8005$ кг/м³. Коефіцієнт теплопровідності $\lambda=12,1$ Вт/(м²·К). Значення коефіцієнта температурного відносного лінійного розширення $\alpha \cdot 10^6$ К⁻¹ залежно від температурного діапазону наведено в табл. 10.58.

Таблиця 10.58. Значення коефіцієнта температурного відносного лінійного розширення сплаву ХН40МДТЮ залежно від температури

$t, ^\circ\text{C}$	20...100	20...200	20...300	20...400	20...500	20...600	20...700	20...800
$\alpha \cdot 10^6 \text{ K}^{-1}$	8,15	11,0	12,0	12,8	13,7	14,7	19,9	15,2

Зварювання. Зварні з'єднання без утворення гарячих тріщин можуть бути отримані аргонодуговим способом за товщиною зварюваних елементів до 6 мм, присадковий дріт – з цього самого матеріалу. Найкращу стійкість до утворення гарячих тріщин у навколошовній зоні сплав має після попереднього оброблення за схемою деформування та низькотемпературне старіння за температури 650 °С.

Контактне шовне зварювання сплаву ХН40МДТЮ в товщинах 0,16...0,26 мм зі сплавом 06ХН28МЗДЗТ і сталями типу Х18Н10Т забезпечує якісний зварний шов і високу вакуумну герметичність.

Технологічні властивості. Сплав ХН40МДТЮ має задовільну технологічність за холодного й гарячого деформування і під час оброблення різанням.

Гаряче пластичне деформування сплаву ХН40МДТЮ здійснюється в діапазоні температур 1160...900 °С; сплав є технологічним для виготовлення поковок. Якщо старіння сплаву здійснюють безпосередньо після гарячого пластичного деформування, то температура закінчення деформування має бути нижчою за температуру рекристалізації сплаву, тобто нижчою за 920 °С.

Термічне оброблення. Пом'якшувальним термічним обробленням для сплаву є загартування від 1050...1100 °С у воді або на повітрі.

Для отримання необхідного рівня міцності сплав обробляється за двома схемами: а) гаряче пластичне деформування та старіння за температур

600...650 °С протягом 5 год, охолодження на повітрі; б) загартування від 1050...1100 °С на повітрі та старіння за температур 650...750 °С з охолодженням на повітрі.

Фізичні властивості сплаву ХН40МДТЮ залежно від температури наведено в табл. 10.59.

Таблиця 10.59. Фізичні властивості сплаву ХН40МДТЮ залежно від температури

t , °С	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/м ²	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	t , °С	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/м ²	$E \cdot 10^{-5}$, МПа
-253	1620	24	20	95	—	1000	100	160	95	360	—
-196	1480	32	30	130	—	1100	60	118	88	280	—
-70	1220	37	42	145	—	1150	50	146	98	200	—
20	1180	34	42	140	2,08	1160	40	97	96	45,0	—
200	1080	22	35	80	1,95	1180	30	103	94	10,0	—
900	300	46	71	100	1,08	1200	30	21	26	10,	—

Примітки: 1. Механічні властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат із сплаву ХН40МДТЮ випускається згідно з нормативними документами: ТУ 14-1-1214-82 (канат довгомірний), ТУ 14-1-1754-85 (поковки-штанги), ТУ 14-1-3190-81 (прутки – пресові вироби), ТУ 14-1-3518-83 (заготованка трубна), ТУ 14-1-3528-83 (дріт пружинний), ТУ 14-1-3546-83 (стрічка холоднокатана), ТУ 14-1-3639-83 (дріт довгомірний), ТУ 14-1-4042-85 (прутки).

10.7. Корозійностійкі сплави на нікелевій основі для високоагресивних середовищ

Корозійностійкі нікелеві сплави належать до трьох основних систем легування: Ni–Mo, Ni–Cr, Ni–Cr–Mo.

Сплави Ni + (25...32 % Cr) + Mo складають групу матеріалів, що мають винятково високу стійкість у відновних середовищах: соляній, фосфорній кислоті, галогенах, вологому хлористому водні, в хлоридах, органічних кислотах і т.ін.

У 10 %-й НСl за температури 70 °С стійкими є сплави з 15...20 % Mo. У киплячих розчинах 10...20 %-ї НСl уміст молібдену має бути не меншим за 28 %; у киплячих розчинах 21 %-ї (та більше) НСl, 40 %-ї (та більше) Н₂SO₄ корозійна стійкість бінарних сплавів системи Ni–Mo підвищується зі збільшенням концентрації молібдену. Однак отримати сплави з умістом молібдену понад 35...36 % поки що не вдається.

Під час нагрівання сплавів у двох температурних діапазонах 600...800 °С і понад 1200 °С у них виникає схильність до МКК. Розвиток

МКК у діапазоні 600...800 °С зумовлюється передусім виділенням по границях зерен дисперсних карбідів типу $Me_{12}C$ (Me – метал, С – вуглець); за температур 700...800 °С процес посилюється ще й виділенням інтерметалідів Ni_4Mo і Ni_3Mo , що призводить до гетерогенізації структури. У результаті таких процесів збіднюються примежові ділянки по молібдену, що сприяє розвитку МКК.

Позитивний вплив на стійкість бінарних сплавів типу Н70М27 у діапазоні температур 600...800 °С справляє додавання титану та ніобію (2 % кожний), які знижують дифузійну рухомість атомів молібдену та вуглецю, тим самим уповільнюючи швидкість виділення карбідних та інтерметалідних сполук.

У високотемпературному діапазоні (понад 1250 °С) схильність до МКК у нікель-молібденових сплавах виникає винятково через утворення карбідів типу Me_6C і Me_2C . З цим же пов'язане і виникнення МКК ножового типу. Домішки кремнію, фосфору та заліза в сплавах типу Н70М27 пришвидшують карбідні реакції і, як наслідок, збільшують схильність до МКК.

Схильність до МКК у сплавах системи Ni–Mo, в тому числі і ножового типу знижують:

а) зменшенням умісту вуглецю, його граничний уміст визначається основним і домішковим складом сплавів; у технічних сплавах домішки становлять 0,005...0,03 %;

б) зниженням умісту кремнію (<0,1 %), фосфору (<0,01 %), заліза (<1 %);

в) легуванням елементами, що знижують термодинамічну активність вуглецю та уповільнюють розпад твердого розчину в інтервалі 700...800 °С, зокрема 1,5...2 % ванадію або ніобію;

г) легуванням поверхнево-активними елементами: бором, кальцієм та іншими, що зменшують можливість утворення взаємопов'язаних ланцюжків карбідів по границях зерен. Нікельмолібденові корозійностійкі сплави характеризуються досить високою пластичністю в області від кріогенних температур до 1200 °С і в 1,5–2,0 рази вищими значеннями характеристик міцності, ніж сталь 12Х18Н10Т.

Легування нікелю хромом (до 50 %) підвищує його стійкість в окисних середовищах. Уміст хрому в сплавах бінарної системи Ni–Cr, необхідний для забезпечення стану пасивності, залежить від властивостей корозійноактивного середовища (складу, температури, рН) і зменшується зі зростанням її агресивності.

Промислові сплави системи Ni–Cr ($Cr \geq 20$ %) характеризуються високою корозійною стійкістю в розчинах азотної кислоти в присутності іонів фтору, стійкістю в хлорі, фтористому та хлористому водні за температур до 500 °С.

Висока корозійна стійкість сплавів Ni–Cr пов'язана з явищем анодної пасивації. На відміну від заліза нікель не утворює з галогенними іонами стій-

ких комплексних сполук, чим пояснюється стійкість пасивного стану в азотно-фтористих розчинах. Сплави $\text{Ni}+(30\ldots 50\%) \text{Cr}$ в окисних середовищах пасивуються спонтанно.

Промислові нікель-хромисті сплави містять до 50 % Cr. За вмісту до 40 % Cr сплави мають структуру гомогенного γ -твердого розчину хрому в нікелі; в діапазоні концентрацій 40...50 % Cr сплави є двофазовими ($\alpha+\gamma$). Перехід від однофазової гомогенної структури до двофазової не викликає зниження корозійної стійкості, оскільки супроводжується підвищенням концентрації хрому.

Причиною виникнення МКК в однофазових нікельхромових сплавах є виділення по границях зерен взаємопов'язаних ланцюжків карбідів типу Me_{23}C_6 . Як і у випадку аустенітних сталей, МКК розвивається тут по збіднених хромом приграничних ділянках, які утворились унаслідок виділення карбіду.

У двофазових сплавах системи $\text{Ni}-\text{Cr}$ (40...50 %Cr) додатковою причиною МКК можуть бути примежові виділення α -фази.

Наявність у сплавах $\text{Ni}-\text{Cr}$ таких елементів, як C, Si, Al, Nb, Zr, Ti, Mo, W, Fe знижує їх стійкість до МКК, оскільки ініціює утворення карбідів $\text{Me}_{2(3)}\text{C}_6$ та α -фази. Одночасне легування нікелю хромом і молібденом дозволяє створювати сплави з високою корозійною стійкістю в окисно-відновних середовищах.

Залежно від умісту хрому та молібдену в певних температурно-часових областях можуть утворюватись інтерметалідні сполуки. Найбільшого поширення на практиці набули сплави на основі системи $\text{Ni}-15\text{Cr}-15\text{Mo}$, які сполучають високу корозійну стійкість до рівномірної та локальної корозії.

Розпад γ -твердого розчину з виділенням карбідів Me_6C відбувається в діапазоні 600...1200 °C після короткотривалих витримувань, при цьому карбіди в діапазоні 600...800 °C виділяються переважно по границях зерен.

Інтерметалідні фази утворюються за температур понад 800 °C і потребують більш тривалих витримувань.

У сплавах $\text{Ni}-15\text{Cr}-15\text{Mo}$ інтенсивність карбідної реакції природно визначається передусім умістом вуглецю, що в найкращих промислових сплавах не перевищує 0,004...0,006 %. Крім того, необхідно прагнути зменшувати вміст елементів, які підвищують термодинамічну активність вуглецю, насамперед кремнію.

Що стосується виділення інтерметалідних фаз, то необхідно дотримуватись правила максимального вмісту елементів, які зменшують стабільність γ -твердого розчину, зокрема заліза, вольфраму та ніобію.

Висока стійкість сплавів системи $\text{Ni}-15\text{Cr}-15\text{Mo}$ до рівномірної корозії в окисно-відновних середовищах поступово погіршується з підвищенням рівня гетерогенності сплавів під час розпаду γ -твердого розчину внаслідок виділень карбідів та інтерметалідних фаз. Якщо фази, які виділяються, розміщу-

ються по границях зерен у вигляді взаємозв'язаних ланцюжків, то може проявитися схильність до МКК.

Для контролю стійкості до МКК сплавів системи Ni–15Cr–15Mo у вітчизняній практиці застосовується киплячий розчин 30 %-ї H_2SO_4 і 40 г/л Fe_2SO_4 за тривалості випробувань протягом 48 год. Цей розчин є чутливим до утворення примежових зон, збіднених основними легувальними елементами, а також до наявності багатих на молібден надлишкових інтерметалідних фаз.

Виділення карбідів Me_6C поряд з появою схильності до МКК може стати причиною інших видів локальної корозії, а саме: корозійного розтріскування, точкової та щілинної корозії сплавів цієї системи. Вважається, що корозійне розтріскування в такому випадку є наслідком утворення гальванічної пари «карбід (катод) – матриця (анод)», виникнення якої спричинює руйнування пасивної плівки.

Чим більший уміст вуглецю в сплаві Ni–15Cr–15Mo, тим більше схильні вони до корозійного розтріскування. Наприклад, сплав Х16Н69М16В після загартування та відпуску за температури 704 °С має стійкість до корозійного розтріскування в 45 %-му MgCl_2 за температури 155 °С і вмісту вуглецю 0,004 % – 2407 год, а за вмісту вуглецю 0,001 % – 6536 год.

Виділення карбідів Me_6C та утворення згаданих вище гальванічних пар можуть стати причиною втрати стійкості сплавів проти точкової та щілинної корозії, однак це явище характерне за вищого вмісту вуглецю.

10.7.1. Сплави Н70МФВ-ВИ (ЭП 814-ВИ), Н65М-ВИ (ЭП 982-ВИ), Н70М-ВИ (ЭП 945-ВИ)

Застосування. Сплави Н70МФВ і Н65М-ВИ використовують у хімічному апаратобудуванні для виготовлення ємнісного зварного устаткування та трубопроводів, які експлуатуються за підвищених температур у солянокислих середовищах, концентрованих розчинах сірчаної та фосфорної кислот у виробництвах іонообмінних смол, оцтової кислоти, галагеноводневих кислот, хлорокусового каучуку, поліпропілену, хіміко-фармацевтичних препаратів, у процесах органічного синтезу. Сплав М70М-ВИ використовують передусім у тих самих умовах, але як присадковий матеріал для зварювання.

Хімічний склад (масова частка), %: сплав Н70МФВ-ВИ $\text{C} \leq 0,2$; $\text{Si} \leq 0,1$; $\text{Mn} \leq 0,5$; $\text{Mo} 25...27$; $\text{Cr} \leq 0,3$; $\text{Fe} \leq 0,8$; $\text{W} \leq 0,3$; $\text{V} 1,4...1,7$; $\text{S} \leq 0,012$; решта – нікель; сплав Н70М-ВИ $\text{C} \leq 0,2$; $\text{Si} \leq 0,1$; $\text{Mn} \leq 0,5$; $\text{Mo} 30...32$; $\text{Cr} \leq 0,3$; $\text{Fe} \leq 1,5$; $\text{S} \leq 0,015$; решта – нікель; фосфору в обох сплавах менше від 0,015 %.

Корозійна стійкість. Сплав Н70МФВ-ВИ не схильний до МКК після провокуючого нагрівання за температури 800 °С протягом 30 хв з охолодженням на повітрі. Випробування проводять у киплячій 21 %-й HCl протягом 200 год. Він має винятково високу корозійну стійкість у широкому спектрі високоагресивних відновних середовищ, у HCl будь-якої концентрації та темпе-

ратури, включаючи температуру кипіння.

У діапазонах концентрації HCl 1..37 % за температур 20 і 70 °С, у киплячих розчинах HCl концентрацією до 10 % швидкість корозії сплаву з 27 % Mo не перевищує 0,2 мм/рік, а в киплячих розчинах 15...21 %-ї HCl – 0,3...0,4 мм на рік. У 10...93 %-ї H_2SO_4 за температури 95 °С і в киплячих розчинах 10...40 %-ї H_2SO_4 швидкість корозії не перевищує 0,1 мм/рік. У 1...10 %-ї H_2SO_4 за температури 70 °С, коли кислота має окисні властивості, швидкість корозії – 0,2 мм на рік. У H_3PO_4 будь-якої концентрації, за винятком 94 %-ї, до 140 °С швидкість корозії сплаву становить 0,02 мм на рік. У 77 %-ї і 94 %-ї H_3PO_4 за температури 150 °С, у 100 %-ї H_3PO_4 за температур 160 і 200 °С сплав є відносно стійким матеріалом. У поліфосфорних кислотах за температур 100...200 °С швидкість корозії не перевищує 0,4 мм/рік. У галогенах (фтор, бром, йод), чистих або таких, що містять відновні кислоти: HF концентрацією до 80 % за кімнатної температури та 10 % за температури 70 °С, бромистоводнева, йодистоводнева та хлорсульфонова, у вологому хлористому водні, в низці органічних кислот, у тому числі мурашиній (10...90 %-ї HCOOH за температури $t_{\text{кип}}$, 50...80 %-ї HCOOH за температури 140 °С під тиском), в оцтовій (50...80 %-ї CH_3COOH за температури $t_{\text{кип}}$, 98 %-ї CH_3COOH за температури 165 °С під тиском), у щавлевій (10...50 %-ї $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4\text{OH}$ за температури $t_{\text{кип}}$) кислотах сплав має перший бал стійкості. Сплав має також перший бал стійкості в соляній (5...37 %-ї концентрації до $t_{\text{кип}}$) і в сірчаній (до 50 %-ї концентрації за температури $t_{\text{кип}}$, до 55 %-ї концентрації за температури 120 °С) кислотах, у хлоридах.

Сплав стійкий до корозійного розтріскування в середовищі хлоридів (наприклад, у 42 %-му MgCl_2) і до точкової корозії.

Нікельмолібденові сплави не стійкі: в азотній кислоті, хлоридах заліза, міді та інших середовищах з окисними властивостями. Навіть дуже малі кількості (10^{-4} %) окисників (хлору, кисню, іонів травильного заліза та міді) в розчинах соляної та сірчаної кислот різко знижують корозійну стійкість нікельмолібденових сплавів. Тому наявність окисників у цих середовищах неприпустима.

Сплав Н65М-ВИ стійкий до МКК після провокуючого нагрівання за температури 800 °С протягом 30 хв з охолодженням на повітрі, в тому числі в зварних з'єднаннях. Випробування проводять у 21 %-ї HCl протягом 200 год.

Сплав Н65М-ВИ, який відрізняється від сплаву Н70МФВ-ВИ більшим умістом молібдену, має вдвічі вищу корозійну стійкість у киплячих розчинах соляної кислоти та на порядок більш стійкий у розчинах сірчаної кислоти (табл. 10.60). У зв'язку з цим сплав Н65М-ВИ рекомендовано для агресивніших середовищ замість сплаву Н70МФВ-ВИ.

Сплав Н65М-ВИ стійкий до загальної та локальної корозій, корозійного розтріскування, МКК після технологічних нагрівань, включаючи зварювання.

Таблиця 10.60. Порівняльні характеристики корозійної стійкості сплавів Н65М-ВИ Н70МФВ-ВИ

Концентрація НСl, %	Швидкість корозії сплавів, г/(м ² ·год)		Концентрація H ₂ SO ₄ %	Швидкість корозії сплавів, г/(м ² ·год)	
	Н65М-ВИ	Н70МФВ-ВИ		Н65М-ВИ	Н70МФВ-ВИ
5	0,08	0,15	0,15	0,01	0,09
10	0,07	0,20	40	0,040	0,15
21	0,15	0,4	50	0,08	0,20

Фізичні властивості. Густина сплавів $\rho = 9200 \text{ кг/м}^3$. За температури 20 °С коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 11,3 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, масова теплоємність $c = 378 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$. Модуль пружності під час розтягування E в діапазонах температур 20...100, 100...400 і 500...700 °С дорівнює $2,3 \cdot 10^5$, $2,2 \cdot 10^5$, $2,0 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ відповідно.

Значення коефіцієнта температурного відносного лінійного розширення α залежно від температури (після загартування від 1070 °С у воді) наведено в табл. 10.61.

Таблиця 10.61. Значення коефіцієнта температурного відносного лінійного розширення сплавів Н65М-ВИ Н70МФВ-ВИ залежно від температури (після загартування від 1070 °С у воді)

$t, ^\circ\text{C}$	20...100	20...200	20...300	20...400	20...500	20...600	20...700
$\alpha \cdot 10^6 \text{ K}^{-1}$	8,0	9,5	9,5	10,0	10,4	10,2	10,2

Зварювання. Сплав Н70МФВ-ВИ зварюється аргонодуговим та електродуговим способами в ручному режимі. Для аргонодугового зварювання використовують дріт Н70М-ВИ, а для електродугового – електроди марки ОЗЛ-23. Зварювання потрібно вести з мінімальним тепловкладенням, для чого застосовують інтенсивне охолодження. Використання цих зварювальних матеріалів дозволяє забезпечити високі механічні властивості наплавленого металу шва: у разі ручного аргонодугового зварювання $\sigma_b = 720 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 350 \text{ МПа}$; $\delta = 35 \%$; $KCU = 150 \text{ Дж/м}^2$. Механічні властивості зварних з'єднань мають відповідати умовам: у разі аргонодугового зварювання $\sigma_b \geq 0,9 \sigma_b$ основного металу, $KCU \geq 100 \text{ Дж/м}^2$, кут статичного вигину – не менше від 80°; за електродугового зварювання $\sigma \geq 0,8 \sigma_b$ основного металу.

Зварні з'єднання мають стійкість до МКК, у тому числі й до ножової корозії. Швидкості корозії основного металу сплаву Н70МФВ-ВИ та його зварних з'єднань у контрольному киплячому розчині 21 %-ї НСl (200 год) відповідно дорівнюють 0,1 і 0,4...0,5 мм/рік

Технологічні параметри. Сплави Н70МФВ-ВИ і Н65М-ВИ піддаються більшості способів пластичного деформування в гарячому та холодному стані: куванню, прокатуванню, штампуванню, пресуванню, волочінню. Температурний діапазон гарячого пластичного деформування 1120...950 °С; необ-

хідне тривале витримування за температури нагрівання під деформування.

Сплави Н70МФВ-ВИ і Н65М-ВИ мають вищу схильність до нагартування, ніж аустенітні сталі типу Х18Н10, і тому потребують більшої кількості проміжних нагрівань під час оброблення тиском.

Сплави піддаються обробленню різанням (точінню, свердленню, фрезеруванню), хоч технологічність під час цих операцій значно гірша, ніж сталей типу Х18Н10. Зазвичай оброблення різанням ведуть на знижених швидкостях. Як різальний матеріал для механічного оброблення сплавів використовують тверді сплави ВК 3, ВК 10, ВК 15, ВК15Т.

Термічне оброблення. Після остаточної операції формоутворення заготовки пластичним деформуванням сплави піддаються загартуванню від $(1070+20)$ °С (витримування 3...5 хв на 1 мм товщини) з охолодженням у воді. Термічне оброблення також необхідно проводити після технологічних операцій, які виконуються в діапазоні температур 1000...600 °С.

Механічні властивості сплаву Н70 залежно від температури наведено в табл. 10.62.

Таблиця 10.62. Механічні властивості сплаву Н70 залежно від температури

t , °С	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/м ²
20	930...980	450...500	45...66	55...65	200...240
500	930...980	450...500	45...50	56...65	200...240
600	500...700	300...380	20...35	30...38	150...230
700	500...580	400...420	10...20	10...30	180...210

Примітки: 1. Властивості залежать від виду металургійного прокату. 2. Для інженерних розрахунків потрібно використовувати дані нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат випускається згідно з нормативними документами:

- із сплаву Н70МФВ-ВИ ТУ 14-1-2230–77 (стрічка), ТУ 14-1-2260–77 (сорт) ТУ 14-1-4684–89 (лист товстий), ТУ 14-3-1227–83 (труби електрозварні);
- із сплаву Н65М-ВИ ТУ 14-1-2674–79 (сорт), ТУ 14-1-2879–80 (лист тонкий), ТУ 14-1-3281–81 (дріт), ТУ 14-1-4202–87 (стрічка), ТУ 14-1-4673–89 (лист товстий), ТУ 14-1-4719–89 (лист товстий), ТУ 14-3-1478–87 (труби електрозварні).

10.7.2. Сплав ХН58В (ЭП795)

Застосування. Сплав ХН58В призначений для виготовлення зварного устаткування, що контактує з розчинами азотної кислоти, в тому числі за наявності іонів фтору, наприклад, у плавиково-азотнокислих травильних розчинах.

Хімічний склад (масова частка), %: $C \leq 0,03$; $Si \leq 0,15$; $Mn \leq 1,0$; $Cr 39...41$, $P \leq 0,015$; $S \leq 0,02$; $Fe \leq 0,5$; $W 0,5...1,5$; решта – нікель.

Корозійна стійкість. Згідно з технічними умовами ТУ 14-1-362–87, ТУ 14-1-4363–87, ТУ 14-131-756–88 сплав ХН58В має бути стійким до МКК після провокуючого нагрівання за температури 700 °С тривалістю 30 хв та охолодження на повітрі. Випробування виконують методом ДУ (ГОСТ 6032–89).

Сплав ХН58В використовують для виготовлення зварних ванн, призначених для травлення корозійностійкої сталі та металовиробів у плавиково-азотнокислому розчині.

Фізичні властивості. Модуль пружності під час розтягування E , коефіцієнти теплопровідності λ і температурного відносного лінійного розширення α залежно від температури наведені в табл. 10.63.

Таблиця 10.63. Фізичні властивості сплаву ХН58В залежно від температури

t , °С	$E \cdot 10^5$, МПа	λ , Вт/(м·К)	Температурний діапазон, °С	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
20	2,20	12,6	—	—
100	2,16	13,7	20...100	10,4
200	2,09	15,0	20...200	10,85
300	2,02	16,2	20...300	10,95
400	1,96	17,6	20...400	11,55
500	1,90	21,6	20...500	11,90
600	1,82	24,5	20...600	12,30
700	1,73	25,7	20...700	12,85
800	—	25,9	20...800	12,90
900	—	26,3	20...900	13,0

Зварювання. Сплав ХН58В зварюється ручним електродуговим і аргонодуговим способами. Дугове зварювання виконують електродами ФХ-13 і ФХ-26. Для аргонодугового зварювання як присадковий матеріал застосовують дріт із сплаву ХН58В. Зварні з'єднання сплаву не схильні до холодних і гарячих тріщин, стійкі до МКК в азотно-фторидних розчинах. Зварні шви мають корозійну стійкість таку саму, як і основний метал.

Технологічні параметри. Температурний діапазон гарячого пластичного деформування становить 1200...950 °С.

Термічне оброблення. Загартування проводять за температур від 1070...1100 °С у воді. Час витримування за цієї температури визначають із розрахунку 3...5 хв на 1 мм максимальної товщини, але не менше від 10 хв.

Механічні властивості сплаву ХН58В залежно від температури наведено в табл. 10.64.

Металургійний прокат із сплаву ХН58В випускається згідно з нормативними документами: ТУ 14-1-2716–79 (дріт), ТУ 14-1-4362–87 (лист товстий), ТУ 14-1-4363–87 (лист товстий), ТУ 131-756–88 (сорт).

Таблиця 10.64. Механічні властивості сплаву ХН58В залежно від температури

t , °C	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	t , °C	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
20	890	500	48	49	800	370	270	37	51
600	600	280	49	46	900	230	220	63	74
700	520	270	38	38					

Примітки: 1. Механічні властивості залежать від виду металургійного прокату.
2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними відповідних нормативних документів, наведених нижче.

10.7.3. Сплави ХН65МВ (ЭП 567), ХН65МВУ (ЭП 760)

Застосування. Обидва сплави використовують у хімічному апаратобудуванні для виготовлення зварного ємнісного устаткування та трубопроводів, реакторів, колонних апаратів, що експлуатуються за підвищених температур у солянокислих і сірчанокислих середовищах, у концентрованій оцтовій кислоті, в сухому хлорі, в середовищах хлоридів заліза та міді, бензойної кислоти, ацетилцелюлози, етилбензолу та стиrolу, епоксидних смол, мінеральних добрив, меланіну, складних органічних сполук.

Сплави призначені для виготовлення посудин та апаратів, стінки яких охолоджуються до мінус 70 °С і прогріваються до 500 °С.

Хімічний склад (масова частка), %: C ≤ 0,03 (0,02); Si ≤ 0,15 (0,10); Cr 14,5...16,5; Mo 15,0...17,0; Fe ≤ 1,0 (0,5); W 3,0...4,5; S ≤ 0,012; P ≤ 0,015; решта – нікель (у дужках наведено концентрації для сплаву ХН65МВУ, концентрації, наведені без дужок, однакові для обох сплавів).

Обидва сплави здебільшого мають схильність до однакових структурних перетворень. Разом з тим за рахунок меншого вмісту в сплаві ХН65МВУ вуглецю, кремнію та заліза він має більшу стабільність γ-твердого розчину, що відповідно підвищує стійкість до МКК.

Корозійна стійкість. Згідно з ТУ 14-1-215–75, ТУ 14-1-2230–77, ТУ 14-1-2475–78, ТУ 14-1-3239–81, ТУ 14-1-3587–83, ТУ 14-3-1227–83 сплави ХН65МВ і ХН65МВУ мають бути стійкими до МКК після провокуючого нагрівання протягом 30 хв. Випробування здійснюють у киплячому 30 %-му розчині H₂SO₄ з 40 г/л сірчанокислого заліза протягом 48 год.

У стані загартування сплави ХН65МВ і ХН65МВУ стійкі до точкової корозії в 10 %-му FeCl₃ і до корозійного розтріскування в 42 %-му киплячому MgCl₂.

Сплави стійкі в різних середовищах: у розчинах солей неорганічних кислот (хлористий алюміній, хлористий амоній, сірчанокисле залізо, хлористий кальцій і т.ін.). Сплави стійкі: у водних розчинах хлоридів міді (до 20 %), хлоридів заліза концентрацією до 35 % за температур до 70...95 °С ($v_{\text{кор}} = 0,05$ мм/рік); в окисних середовищах кислот – хромової (в 10...13 %-му

розчині за температури 95 °С $v_{\text{кор}} = 0,3 \dots 0,6$ мм/рік), хлорсульфонової (за температур 20 і 200 °С $v_{\text{кор}} = 0,1$ мм/рік), хлорної та хлорнуватої (будь-якої концентрації за температури 20 °С $v_{\text{кор}} = 0,1$ мм/рік); у вологому та сухому хлорі, хлористому водні до 540 °С, у сухому хлористоводневому газі до 650 °С; у сірчаній кислоті концентрацією від 1 до 93 % до 70 °С ($v_{\text{кор}} \leq 0,1$ мм/рік), за температур кипіння лише в розведених розчинах (не більше за 30 %-у H_2SO_4).

Наявність у сірчаній кислоті HNO_3 , H_2CrO_4 , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Cl^- значно підвищує стійкість сплавів. Сплави стійкі в розчинах, які містять окисні хлориди та в азотній кислоті. За концентрації HNO_3 упритул до 50 % за температури 65 °С $v_{\text{кор}}$ становить менше від 0,5 мм/рік, така ж сама швидкість корозії в 50 %-й $\text{H}_2\text{P}_3\text{O}_5$ за температури кипіння.

Сплави добре опираються корозії в суміші фосфорної кислоти з такими компонентами, як плавикова кислота та окисні солі; у фтористоводневій кислоті за температури 20 °С до 80 %-ї концентрації та в 10 і 30 %-й кислоті відповідно за температур 95 і 75 °С; в органічних кислотах (оцтовій, мурашиній, масляній); в оцтовій кислоті за наявності перекисних сполук і хлоріонів; у продуктах згоряння – діоксиді вуглецю та гідрокарбонаті за температури 1000 °С; у гідросульфаті водню та у вологому діоксиді сірки за температури 800 °С.

Фізичні властивості. Густина $\rho = 8900$ кг/м³. Коефіцієнт теплопровідності, масова теплоємність і модуль пружності за температури 20 °С відповідно $\lambda = 12,6$ Вт/(м·К), $c = 386$ Дж/(кг·К), $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

Значення коефіцієнта температурного відносного лінійного розширення α сплавів ХН65МВ і ХН65МВУ залежно від температури наведено в табл. 10.65.

Таблиця 10.65. Фізичні властивості сплавів ХН65МВ і ХН65МВУ залежно від температури

$t, ^\circ\text{C}$	0...100	20...200	20...300	20...400	20...500	20...600	20...700	20...800
$\alpha \cdot 10^6 \text{ K}^{-1}$	11,75	13,25	14,05	14,50	15,10	15,20	16,00	16,75

Зварювання. Сплави ХН65МВ і ХН65МВУ зварюють ручним електродуговим та аргонодуговим способами. Для електродугового зварювання застосовують електроди ОЗЛ-21. Для аргонодугового зварювання як присадковий матеріал використовують дріт ХН65МВ.

Зварювання рекомендовано проводити з мінімальною енергією та з перервами накладання чергових металевих валиків або з проміжним охолодженням. Необхідно ретельно захищати зварювальну ванночку (розплавлений метал) і зворотній бік шва від навколишнього повітря. Зварювання аргонодуговим способом за дотримання наведених умов забезпечує високі механічні властивості шва за температури 20 °С: $\sigma_{\text{в}} = 750$ МПа, $\sigma_{0,2} = 350$ МПа, $\delta = 25$ %, $\text{КСУ} = 80$ Дж/м²; при цьому мінімальні значення властивостей зварного з'єднання: $\sigma \geq 0,9 \sigma_{\text{в}}$ основного металу, а кут загину понад 100°.

За електродугового зварювання $\sigma_{\text{шва}} \geq 0,8 \sigma_{\text{в}}$ основного металу.

Зварні з'єднання сплавів ХН65МВ (до 10 мм) і ХН65МВУ (до 20 мм) не схильні утворювати гарячі та холодні тріщини, стійкі до МКК. Швидкість корозії основного металу та його зварних з'єднань у контрольному киплячому розчині 30 %-ї H_2SO_4 і 40 г/л FeSO_4 становить 1 мм/рік.

Зварні з'єднання не потребують термічного оброблення.

Технологічні параметри. Сплави піддаються гарячому та холодному деформуванню майже всіма відомими методами формоутворень. Температурний діапазон гарячого пластичного деформування становить 1290...950 °С. У процесі гарячого пластичного деформування під час нагрівання необхідне тривале витримання зливків або напівфабрикатів.

Під час оброблення різанням унаслідок досить високої схильності сплавів до наклепу процес необхідно проводити на зменшених швидкостях різання, а також застосовувати інструмент з твердосплавними пластинками або із швидкорізальної сталі.

Фізичні властивості. Модуль пружності під час розтягування E , коефіцієнти теплопровідності λ і температурного відносного лінійного розширення α залежно від температури наведені в табл. 10.66.

Таблиця 10.66. Механічні властивості сплавів ХН65МВ (ЭП 567), ХН65МВУ (ЭП 760) залежно від температури

t , °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/м ²
-60	—	—	—	—	150
-40	—	—	—	—	17
-20	—	—	—	—	170
0	—	—	—	—	170
20	990	570	46...49	48...50	160
100	950	480	48	48	160
200	850...930	470...490	45...48	44...48	160
300	910...920	450...460	43...46	42...45	160
400	800...870	430...480	40...42	33...36	170
500	800...850	430...480	35...36	33...35	180
600	800	480	37	33	190

Примітки: 1. Механічні властивості залежать від виду металургійного прокату.
2. Для інженерних розрахунків потрібно користуватись даними нормативних документів, наведених нижче.

Металургійний прокат випускається згідно з нормативними документами:

– сплав ХН65МВ – ТУ 14-1-683–74 (дріт), ТУ 14-1-1215–75 (стрічка), ТУ 14-1-1485–75 (лист тонкий), ТУ 14-1-2475–78 (лист товстий), ТУ 14-3-1227–83 (труби електрозварні);

– сплав ХН65МВУ – ТУ 14-1-2133–74 (заготованка трубна), ТУ 14-1-2230–77 (стрічка), ТУ 14-1-4787–89 (дріт зварювальний), ТУ 14-3-1227–83 (труби електрозварні).

11. КОРОЗІЙНОСТІЙКІ БІМЕТАЛИ І БАГАТОШАРОВІ МАТЕРІАЛИ

До біметалів належать дво- або багатошарові напівфабрикати, які складаються з двох різних металів або сплавів, міцно з'єднаних між собою по всій поверхні стикання.

У сучасній техніці біметали виконують роль термобіметалів, корозійно-стійких, антифрикційних, зносостійких та інших елементів машин.

Корозійностійкі біметали досить широко застосовують замість монометалевого прокату із високолегованих корозійностійких сталей і сплавів для економії дефіцитних і дорогих легувальних елементів.

11.1. Особливості корозійностійких біметалів

Від монометалевих металургійних напівфабрикатів біметали відрізняються наявністю особливого шару, який розділяє різнорідні матеріали. Структура і властивості цього шару багато в чому визначають успішну експлуатацію біметалів.

Корозійностійкими біметалами на основі чорних металів є метали з плакувальним шаром із хромонікелевих сталей типу X18H10, X17H3M3, високолегованих сталей типу 03X21H21M4ГБ і 06X23H28M3Д і хромонікелевих сплавів.

Як основний шар використовують вуглецеві сталі: Ст3, Сталь10 і Сталь 20К, низьколеговану 16ГС, теплостійкі сталі 12ХМ, 10Х2М, 12Х1МФ.

Найпоширенішим способом отримання корозійностійких біметалів є оброблення тиском, зокрема прокатування, що передбачає сумісне деформування з'єднуваних металів, складених у пакет. У такий спосіб натеper виготовляють приблизно 80 % корозійностійких біметалів.

Симетричний чотиришаровий пакет під прокатування складається з таких частин: двох пластин 1 із корозійностійкої сталі, двох пластин 2 основного шару, 3 – зварний шов; 4 – поверхня контакту пластин з корозійностійкої сталі (рис. 11.1).

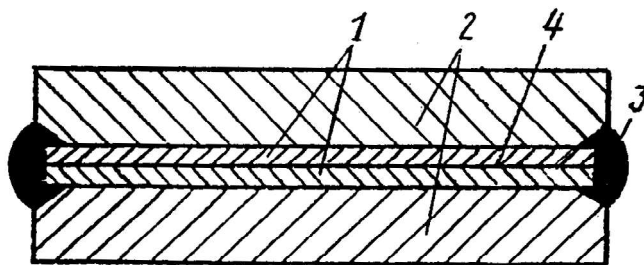


Рис. 11.1. Схема чотиришарового симетричного пакета, що є заготовкою для виготовлення двошарових листів: 1 – пластини корозійностійкої сталі; 2 – пластини основного шару; 3 – зварний шов; 4 – поверхня контакту пластин з корозійностійкої сталі

Пакет обварюють по периметру для герметизації внутрішнього простору. У площині симетрії (між двома корозійностійкими пластинами) розташовують розділовий шар з оксидів Al_2O_3 , MnO_2 , CaO , SiO_2 та інших або з їх сумішей. Порошок оксидів змішується зі зв'язкою, наприклад, з рідким склом. Розділовий шар необхідний для полегшеного роз'єднування пакета після прокатування на два біметалеві листи, кожен з яких має плакувальний шар із корозійностійкої сталі.

Перед виготовленням біметалевого пакета між основним і плакувальним шарами наносять з'єднувальний нікелевий прошарок, що наноситься гальванічним або металізаційним способом. Його роль полягає в забезпеченні хорошої тужавості між шарами металу, а також у гальмуванні дифузійних потоків між основним і плакувальним шарами. Стосовно пари із корозійностійкої аустенітної та вуглецевої або низьколегованої сталей особливу небезпеку становить науглецювання плакувального шару під час нагрівання під прокатування та самого прокатування, оскільки вміст вуглецю в ньому на порядок нижчий, ніж в основному.

Науглецювання корозійностійкої сталі може зумовлювати схильність до МКК та окрихчування, а знеуглецювання основи – до зменшення міцності.

Останнім часом набув поширення спосіб виготовлення біметалів за допомогою зварювання вибухом. У цьому випадку двошарову заготовку під прокатування виготовляють з'єднанням двох пластин за допомогою енергії вибухової хвилі. Цей процес короткотривалий і становить близько 10^{-6} с. Така технологія дозволяє отримати лист більших габаритів і товщини порівняно з пакетним прокатуванням. Тришаровий корозійностійкий лист, що широко застосовується для виготовлення сільськогосподарської техніки, яка експлуатується в контакті з мінеральними добривами, майже завжди виготовляють методом вибуху. Схему зварювання вибухом показано на рис. 11.2.

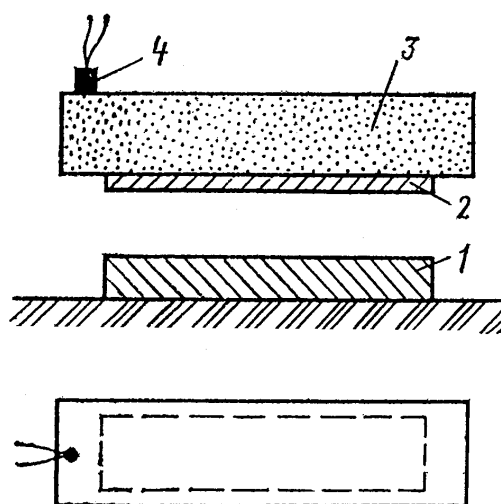


Рис. 11.2. Схема зварювання вибухом з паралельним розміщенням пластин:
1 – основний шар; 2 – плакувальний шар; 3 – вибухова речовина; 4 – детонатор

Отриманий вибуховим зварюванням пакет надходить на гаряче прокатування, в процесі якого виготовляють лист потрібної товщини.

Біметалеві двошарові корозійностійкі листи постачаються в термообробленому стані. Режими термічного оброблення добирають з урахуванням технологічних параметрів обох шарів.

У випадку корозійностійких біметалів до плакувального шару ставлять вимоги до корозійної стійкості, а до основного шару – до міцності та ударної в'язкості.

ГОСТ 10855–85 унормовує випробування на МКК, механічні властивості, макро- та мікроструктури. Крім стандартних випробувань, біметали піддають контролю на стійкість до корозійного розтріскування, точкової корозії та на витривалість.

Специфічним видом випробувань, притаманним лише біметалам, є визначення міцності та суцільності з'єднання шарів.

Суцільність зчеплення перевіряють ультразвуковим контролем згідно з ГОСТ 22727–88. Норма суцільності обумовлена ГОСТ 10855–85 з поділом біметалевих листів (залежно від допустимої площі порушення суцільності) на чотири класи (табл. 11.1).

Таблиця 11.1. Нормативні вимоги до суцільності з'єднань шарів

Клас листів	Умовна площа порушення суцільності, см ²		S, %	Клас листів	Умовна площа порушення суцільності, см ²		S, %
	мінімально враховуваних	максимально допустимих			мінімально враховуваних	максимально допустимих	
1	20	50	0,5	3	20	500	3,0
2	20	100	2,0	4	100	1000	5,0

Примітка. S – відносна площа всіх враховуваних порушень суцільності металу по відношенню до площі листа, не більше.

Відмінність між властивостями основного та плакувального шарів і наявність з'єднувального шару, який, у свою чергу, за своїми властивостями відрізняється від перших двох, зумовлюють особливі умови до технологій перероблення біметалів у машинобудуванні.

Для виконання операцій, пов'язаних з холодним і гарячим пластичним деформуванням, необхідно розробляти технологію з урахуванням порівнянь фізико-механічних властивостей всіх трьох складових біметалу, в тому числі абсолютних величин міцності, модуля пружності під час розтягування, коефіцієнта температурного відносного лінійного розширення.

На підставі аналізу властивостей складових біметалу аналітично та емпірично добирають такі параметри, як мінімальний радіус гнуття, максимально допустимі рівні витяжки, температурні діапазони гарячого пластичного деформування.

Під час розроблення технології оброблення тиском і термічного оброблення для виготовлення конструкцій із біметалів потрібно брати до уваги різну початкову анізотропію властивостей основного матеріалу та плакувального шару, а також можливість виникнення у виробі додаткових внутрішніх напружень, зумовлених різними фізичними властивостями обох шарів.

Деякі особливості мають також технології різання та зварювання біметалів.

Принциповою особливістю в технології зварювальних робіт з біметалами є роздільне зварювання плакувального та основного шарів і неприпустимість відчутного взаємного перемішування розплавленого металу шарів.

Корозійностійкі двошарові листи з прокату із чорних металів піддаються електродуговому ручному зварюванню. Застосовують комбінований спосіб зварювання – автоматичне зварювання для основного шару та ручне зварювання для плакувального. Зварювання двошарових листів потребує ретельного розроблення крайок, суворого дотримання робочих режимів струму, швидкості, правильної послідовності накладання присадкового матеріалу.

Зварювання біметалів з плакувальним шаром із корозійностійких сталей досить добре опановане і дозволяє досягати корозійної стійкості й міцності швів на рівні відповідно плакувального та основного шарів.

Під час різання біметалевих листів плавленням (газовим, газофлюсовим, плазмовим) потрібно вживати заходів, які виключають пошкодження плакувального шару, змішування його з металом основного шару та забруднення сторонніми вкрапленнями.

Під час механічного різання, рубання, пробивання отворів вказані операції потрібно виконувати на листі з боку плакувального шару з тим, щоб унеможливити можливість його відшарування, пошкодження, забруднення.

11.2. Номенклатура біметалевого прокату

Найбільшого поширення в промисловості набули біметалеві листи з плакувальним шаром із корозійностійких сталей 08X18H10T і 08X13. Біметалевий лист зі сталлю 08X18H10T застосовують у хімічному машинобудуванні для виготовлення апаратів, що працюють в контакті з розчинами азотно-, сірчаноокислих і хлористих солей, із сухим хлором, з сірчистими та вуглецевокислим газами. Цей вид біметалу та біметал зі сталлю 08X13 використовують для виготовлення кристалізаторів, вакуум-апаратів, реакторів, теплообмінників, варильних котлів, ректифікаційних колон, апаратів для знежирювання.

У нафтовому машинобудуванні ці біметали застосовують для виготовлення змішувачів, реакторів відгоняння сирової нафти, реакторів для рафінування, теплообмінників та ін.

Біметали з плакувальним шаром із високолегованих сталей 10X17H13M2T, 10X17H13M3T, 06X23H28МДТ використовують для виготов-

лення апаратури, що експлуатується в гарячих розчинах сірчаної, фосфорної, щавлевої та мурашиної кислот. Із двошарових листів з плакувальним шаром сталей типу X18H10 і X17H13M2 виготовляють залізничні цистерни для перевезення агресивних рідин.

Двошарові листи з плакувальним шаром із високохромистих феритних сталей 08X17T і 15X25T використовують для виготовлення устаткування, яке експлуатується під тиском за підвищених температур. Реалізація високої корозійної стійкості в таких умовах стала можливою завдяки пластичності та в'язкості основного шару, оскільки низькі пластичність і в'язкість хромистих феритних сталей не дозволяють застосовувати їх у вигляді монометалевого листа з використанням зварювання. Можливі сполучення матеріалів плакувального та основного шарів наведено в табл. 11.2.

Таблиця 11.2. Варіанти комбінацій матеріалу плакувального та основного шарів

Марки сталі плакувального шару	Марки сталі основного шару									
	ВтЗсп	20К	09Г2	16ГС	09Г2С	ХНСД	10ХГНС1Д	12МХ	12ХМ	10Х2М1
08Х13	+	+	+	+	+	–	–	+	+	–
08Х18Н10Т	+	+	–	+	+	+	–	+	+	+
12Х18Н10Т	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–
10Х17Н13М2Т	+	+	–	+	+	–	–	–	–	–
10Х17Н13М3Т	+	+	–	+	+	–	–	–	–	–
08Х17Н15М3Т	+	+	–	+	–	–	–	–	–	–
06ХН28МДТ	+	+	–	+	–	–	–	–	–	–

11.3. Сталь листовая горячекатаная двошаровая коррозійностійка (ГОСТ 10885–85)

Сталь двошарова коррозійностійка випускається з плакувальним шаром зі сталей марок 08Х13, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х17Н15М3Т, 06ХН28МДТ і з основним шаром зі сталей марок СтЗсп, Сталь 10, Сталь 20К, 09Г2, 16ГС, 09Г2С, 10ХНСД.

Коррозійностійкий шар з наведених марок сталей двошарового листа має бути стійким до МКК під час випробувань згідно з ГОСТ 6032–89.

Міцність з'єднання шарів на зріз має бути не меншою за 147 МПа; під час випробувань на вигин листи мають витримувати кут загину 180°.

Механічні властивості двошарових листів, що випускаються згідно з ГОСТ 10855–85, наведено в табл. 11.3, а сортамент прокату згідно з ГОСТ 1885–85 – у табл. 11.4.

Таблиця 11.3. Нормативні механічні властивості двошарових плакованих листів

Марка сталі основного шару	Товщина листа, мм	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	Ударна в'язкість (не менше), Дж/м ² , за температури, °С		
					20	–40	–70
Сталь 10	8...24	333	–	32	80...70	–	–
	4...20	372...480	245	26	80...70	–	–
Сталь СтЗ	21...40	372...480	235	235	50	–	–
	40	37...38	225	23	–	–	–
Сталь 20К	8...20	402...509	245	25	60	–	–
	21...40	402...509	235	24	55	–	–
	41...60	402...509	225	23	50	–	–
Сталь 09Г	8..9	440	304	21	–	35	–
	10..20	440	304	21	30	30	–
	21...32	440	294	21	–	40	–
Сталь 16ГС	8..9	490	323	21	60	40	30
	10...20	480	314	21	60	30	25
	21...32	470	294	21	60	30	25
	33...60	463	284	21	60	30	25
Сталь 09Г2С	8...9	490	343	21	65	40	35
	10...20	470	323	21	60	35	30
	21...32	460	304	21	60	35	30
	33...60	450	284	21	60	35	30
Сталь 12МХ	12...40	422	220	24	60	–	–
Сталь 12ХМ	30...60	440	235	19	80	–	–
Сталь 10ХСНД	8...9	530	392	19	–	50	35
	10...14	530	392	19	–	40	30
	16...32	530	392	19	–	50	30
Сталь 10ХГСН1Д	8...10	550	440	16	–	50	–
Сталь 10Х2М1	30...60	440	235	19	80	–	–

Таблиця 11.4. Сортамент прокату біметалевих листів (мм)

Листи з плакувальним шаром із сталей марок 08Х13, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М2Т				Листи з плакувальним шаром із сталей марок 08Х17Н15М3Т, 06ХН28МДТ			
Загальна товщина листа	Товщина корозійно- стійкого шару	Ширина	Довжина	Загальна товщина листа	Товщина корозійно- стійкого шару	Ширина	Довжина
4...5	1,0...1,5	1200...1600	4000...6000	8...14	2,0...3,0	1300...1700	4000...6500
6...7	1,5...2,0	1200...1600	4000...6000	16...20	2,5...3,5	1300...1700	4000...6000
8...14	2,0...3,0	1200...1700	4000...7000	22...26	3,0...4,0	1500...2800	3700...8400
16...20	2,5...3,5	1300...1700	4000...7000	28...30	3,5...5,0	1500...2800	3300...8200
22...26	3,0...4,0	1300...2800	3000...8600	32...40	4,0...6,0	1500...2800	3100...7200
28...30	3,5...5,0	1500...2800	3200...8600				
32...60	4,0...6,0	1500...2800	3000...8100				

11.4. Сталь листова двошарова, виготовлена зварюванням вибухом (ТУ 14-1-2667–82)

Сталь листову двошарову виготовляють зварюванням вибухом плакувального шару із сталей марок 08X18H10T, 12X18H10T з основним (несучим) шаром із сталей СтЗсп, 16ГС, 09ГС. Виготовлюваний сортамент наведено в табл. 11.5.

Таблиця 11.5. Сортамент двошарової сталі, звареної вибухом (мм)

Загальна товщина листа	Товщина корозійностійкого шару,	Ширина	Довжина
20...100	5	1000	3000...4600
28...100	6	1000...3000	3000...4600
60...100	7...8	1000...1300	3000...4600

Опірність відриванню шарів у двошарових листах з плакувальним шаром із сталі 08X18H10T має бути не меншим за 147 МПа. Під час випробувань на холодний вигин на оправці діаметром, рівним двом товщинам, листи мають витримувати кут загину 180° плакувальним шаром всередину та 150° – плакувальним шаром назовні.

Плакувальний шар із сталей марок 08X18H10T і 12X18H10T має бути стійким до МКК під час випробувань згідно з ГОСТ 6032–89.

11.5. Сталь листова гарячекатана двошарова корозійностійка товщиною 65...120 мм (ТУ 14-1-2726–79)

Двошарові листи виготовляють із сталі марок 08X13, 08X18H10T, 12X18H10T, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T та основним шаром 20К, 16ГС, 09Г2С. Виготовлюваний сортамент листів із цих сталей наведено в табл. 11.6, а механічні властивості – в табл. 11.7.

Таблиця 11.6. Сортамент двошарових сталей з основним шаром марок 20К, 16ГС, 09ГС (мм)

Загальна товщина листа	Товщина корозійностійкого шару	Ширина	Довжина
65...75	4,4...7,5	1500...2800	3000...6800
80...90	6,0...8,5	1500...2600	3000...5500
95...120	7,0...10,0	1500...2400	2700...4900

Таблиця 11.7. Механічні властивості сталей основного шару

Марка сталі основного шару	Товщина листа, мм	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	Ударна в'язкість, Дж/м ² , за температури, °С		
					20	–40	–70
Сталь 09ГС	65...78	440	275	21	60	35	30
	80	430	265	21	60	35	30
Сталь 16ГС	65...110	450	275	21	60	30	25

Корозійностійкий шар двошарового листа має бути стійким до МКК. Міцність з'єднання шарів на зріз – не менша від 147 МПа.

11.6. Сталь листова тришарова корозійностійка (ТУ 14-1-3048–81)

Тришарові листи виготовляють у таких варіантах: 08Х18Н10Т + Сталь 10(08) + 08Х18Н10Т і 12Х18Н10Т + Сталь 10(08) + 12Х18Н10Т. Виготовлюваний сортамент наведено в табл. 11.8.

Таблиця 11.8. Сортамент тришарових листів (мм)

Товщина основного шару	Товщина плакувального шару на одну сторону (не менше)	Габарити листа (ширина × довжина)
2,0	0,16	1100 × (2000...4000)
2,5	0,20	1100 × (2000...4000)
3,0	0,24	1100 × (2000...6000)
3,5	0,28	1100 × (2000...6000)
4,0	0,32	1100 × (2000...6000)

Плакувальний шар тришарових листів має бути стійким до МКК під час випробувань згідно з ГОСТ 6032–89 (метод Б).

Прокат корозійностійкої листової тришарової сталі використовують передусім для виготовлення деталей машин для підготовки і внесення в ґрунт мінеральних добрив і препаратів хімічного захисту рослин.

12. ЛИВАРНІ НЕІРЖАВКІ (КОРОЗІЙНОСТІЙКІ) СТАЛІ

Ливарні сталі, як і деформівні неіржавкі сталі та сплави, широко застосовують в енергетиці, суднобудуванні, хімічній, нафтохімічній, целюлозно-паперовій та інших галузях промисловості. Корозійна стійкість ливарних неіржавких сталей у відповідних корозійних середовищах, як правило, мало відрізняється від корозійної стійкості деформівних неіржавких сталей.

Хімічний склад, механічні властивості та методи термічного оброблення ливарних сталей визначаються ГОСТ 977–88 [5]. Підвищеної корозійної стійкості цих сталей досягають належним термічним обробленням виливків і поліруванням їхніх поверхонь.

Залежно від призначення та поставлених вимог виливки поділяють на три групи.

1. **Виливки загального призначення.** Виливки для деталей, конфігурація та розміри яких визначаються лише технологічними та конструктивними міркуваннями. Контрольовані показники якості: зовнішній вигляд, розміри, хімічний склад сплаву.

2. **Виливки відповідального призначення.** Виливки для деталей, що розраховуються на міцність і таких, що експлуатуються в умовах статичних навантажень. Контрольовані показники якості: зовнішній вигляд, розміри, хімічний склад сплаву, механічні властивості (границя плинності або тимчасовий опір, відносне здовження).

3. **Виливки особливо відповідального призначення.** Виливки для деталей, що розраховуються на міцність і експлуатуються в умовах циклічних і динамічних навантажень. Контрольовані показники якості: зовнішній вигляд, розміри, механічні властивості (границя плинності або тимчасовий опір, відносне здовження та ударна в'язкість).

Позначення виливка в технічних вимогах креслень:

- для виливків першої групи: «Виливок 1-ї групи ГОСТ 977–88»,
- для виливків другої групи : «Виливок 2-ї групи ГОСТ 977–88»,
- для виливків третьої групи: «Виливок 3-ї групи ГОСТ 977–88».

Приклад умовного позначення ливарних неіржавких сталей:

23X25H19C2Л ГОСТ 977–88.

Приклади умовного позначення ливарних неіржавких сталей для виливків, з яких виготовляють вироби, що підлягають прийняттю представником замовника:

10X12НДЛ К441 ГОСТ 977–88,
14X18Н4Г4Л КТ245 ГОСТ 977–88.

Цифри й літери, що позначають марки ливарних сталей, означають те саме, що і деформівних сталей. Літера «Л» означає, що сталь ливарна. Індeksi «К» і «КТ» є умовними позначеннями категорії міцності, наступні за ним ци-

фри означають потрубну границю плинності. Індекс «К» присвоюють матеріалу у відпаленому, нормалізованому або відпущеному стані, індекс «КТ» – після загартування або відпуску.

Усі ливарні неіржавкі сталі поділяють на шість класів: мартенситний, мартенситно-феритний, феритний, аустенітно-мартенситний, аустенітно-феритний, аустенітний.

12.1. Застосування ливарних неіржавких сталей

12.1.1. Сталі мартенситного класу

1. Сталь 20X13Л дещо менш корозійностійка в атмосферних умовах порівняно зі сталлю марки 15X13. Застосовують для деталей, які піддаються ударним навантаженням (турбінні лопатки, клапани гідравлічних пресів, арматура крекінг-установок, сегменти сопел, форми для скла та ін.), а також для виробів, які піддаються дії відносно слабких агресивних середовищ (атмосферні опади, волога пара, водні розчини органічних кислот за кімнатної температури).

2. Сталь 08X14НДЛ корозійностійка в морській воді та атмосферних умовах; корозійна стійкість вища, ніж сталей марок 15X13Л і 20X13Л. Застосовують для деталей, що експлуатуються в морській воді (наприклад, гребні гвинти).

3. Сталь 09X16Н4БЛ корозійностійка та високоміцна за нормальної температури; стійка до окиснення в атмосферних умовах за температури до 500 °С. Застосовують для деталей підвищеної міцності в авіаційній, хімічній та інших галузях промисловості.

4. Сталь 09X17Н3СЛ корозійностійка та високоміцна за нормальної температури. Застосовують для деталей підвищеної міцності в авіаційній, хімічній та інших галузях промисловості, що експлуатуються в середовищах середньої агресивності (азотна та слабкі органічні кислоти, розчин солей органічних і неорганічних кислот).

5. Сталь X5МЛ жаростійка в гарячих нафтових середовищах, що містять сірчисті сполуки, жаростійка в газових середовищах до 600 °С. Застосовують для деталей арматури нафтопереробних установок, корпусів насосів, для деталей, які експлуатуються в нафтових середовищах під тиском за температури до 500 °С.

6. Сталь 20X8ВЛ жаростійка в більш агресивних сірчистих середовищах порівняно зі сталлю 20X5МЛ, її жаростійкість – до 600 °С. Застосовують так само, як і за п. 5, але в умовах сильносірчистих середовищ під тиском та за температури до 575 °С.

7. Сталь 40X9С2Л жаростійка за температури до 800 °С, жароміцна за температури до 700 °С. Застосовують для деталей, які експлуатуються тривалий час під навантаженням за температури до 700 °С (наприклад, клапани моторів, колосники, кріпильні деталі).

8. Сталь 10X12НДЛ кавітаційностійка, а також корозійно- та ерозійностійка в умовах проточної води; сталь не схильна до відпускнуї крихкості. Застосовують для елементів зварних конструкцій робочих коліс гідротурбін, лопаток, деталей проточної частини, які експлуатуються в умовах кавітаційного руйнування.

9. Сталь 20X12ВНМФЛ корозійностійка та жароміцна до 650 °С. Застосовують для литих заготованок інструменту з наступним процесом гарячого пластичного деформування (кування, гаряче витискування) та для литого металорізального інструменту (виливки першої групи).

11. Сталь 90X4М4Ф2В6Л має високу зносостійкість і теплостійкість. Застосовують так само, як і за п. 10.

12.1.2. Сталі мартенситно-феритного класу

12. Сталь 15X13Л корозійностійка в атмосферних умовах, у річковій і водогінній воді. Найвища корозійна стійкість досягається термічним обробленням та поліруванням. Застосовують для деталей з підвищеною пластичністю, які піддаються ударним навантаженням (турбінні лопатки, клапани гідравлічних пресів, арматура крекінг-установок та ін.), а також для виробів, які піддаються дії відносно слабких агресивних середовищ (атмосферні опади, волога пара, водні розчини солей органічних кислот за кімнатної температури).

13. Сталь 15X14НЛ корозійностійка у воді, вологому парі, розведений азотній кислоті та слабких органічних кислотах, має підвищену стійкість проти кавітації. Застосовують так само, як і за п. 12.

14. Сталь 08X12НГСМЛ корозійностійка у воді, вологій парі, розведений азотній кислоті та слабких органічних кислотах. Застосовують так само, як і за п. 13.

12.1.3. Сталь феритного класу

15. Сталь 15X25ТЛ корозійностійка, жаростійка за температури до 1100 °С, має задовільну опірність МКК. Застосовують для деталей хімічного машинобудування, зокрема й таких, що перебувають у контакті із сечовиною, а також для пічної арматури.

12.1.4. Сталі аустенітно-мартенситного класу

16. Сталь 08X15Н4ДМЛ корозійностійка в морській воді та в атмосферних умовах. Порівняно зі сталлю 08X14НДЛ менш чутлива до концентраторів напружень. Застосовують для деталей, які експлуатуються в морській воді (наприклад, важконавантажені гребені гвинти криголамів та ін.).

17. Сталь 08X14Н4Г4Л корозійностійка. Застосовують для деталей виробів, що експлуатуються за кімнатної та низьких (до мінус 196 °С) температур.

18. Сталь 14X18H4Г4Л корозійностійка, має більшу, ніж сталь марки 10X18 H9Л схильність до МКК. Застосовують для арматури в хімічній промисловості, колекторів вихлопних систем, деталей пічної арматури та ін.

12.1.5. Сталі аустенітно-феритного класу

19. Сталь 12X25H5ГМФЛ корозійностійка, жаростійка за температури до 600 °С. Застосовують для арматури хімічної промисловості, для авіаційних деталей, а також для пристроїв, що навантажені тиском до 30 МПа.

20. Сталь 16X18H12C4ТЮЛ корозійностійка. Застосовують для зварних виробів, які контактують з агресивними середовищами, зокрема для концентрованої азотної кислоти за температури 105 °С.

21. Сталь 35X23H7СЛ корозійностійка в сірчистих середовищах, жаростійка за температури до 1000 °С. Застосовують для деталей трубчастих печей нафтозаводів та інших деталей, які експлуатуються за температури до 1000 °С.

Рекомендується замість сталі марки 40X24H12СЛ.

22. Сталь 40X24H12СЛ корозійностійка, жаростійка за температури до 1000 °С, жароміцна. Застосовують для деталей, які експлуатуються за високих температур і тиску (лопатки компресорів і соплових апаратів, пічні конвеєри, шнеки, кріпильні деталі).

23. Сталь 20X20H14C2Л жаростійка до 1000...1050 °С, стійка у науглецьовувальному середовищі. Застосовують для деталей пічних конвеєрів, шнеків для цементації та інших деталей, що експлуатуються за високих температур у навантаженому стані.

24. Сталь 10X18H3Г3Д2Л кавітаційностійка, має підвищену стійкість до піщаної ерозії порівняно зі сталлю марки 10X12НДЛ, Застосовують для литих лопаток і зварних деталей робочої частини гідротурбін.

25. Сталь 12X21H5Г2СЛ корозійностійка на повітрі, в азотній кислоті, дуже розведений сірчаній кислоті та слабких або дуже розведених органічних кислотах. Застосовують так само, що й за п. 21.

26. Сталь 12X21H5Г2СТЛ корозійностійка на повітрі, в азотній кислоті, дуже розведений сірчаній кислоті та слабких або розведених органічних кислотах, більш стійка до МКК, ніж сталь 10X18H9Л. Застосовують так само, що й за п. 25.

27. Сталь 12X21H5Г2СМ2Л корозійностійка в низці неорганічних та органічних кислот. Застосовують так само, що й за п. 25.

28. Сталь 12X19H7Г2САЛ корозійностійка на повітрі, в азотній кислоті, дуже розведений сірчаній кислоті та слабких або розведених органічних кислотах. Застосовують так само, що й за п. 25.

29. Сталь 12X21H5Г2САЛ корозійностійка на повітрі, в азотній кислоті, дуже розведений сірчаній кислоті та слабких або розведених органічних кислотах. Застосовують так само, що й за п. 25.

30. Сталь 07X18H10Г2С2М2Л корозійностійка в низці неорганічних та органічних кислот, більш стійка до МКК, ніж сталь марки 15X18H10Г2С2М2Л. Застосовують так само, що й за п. 25.

31. Сталь 15X18H10Г2С2М2Л корозійностійка в низці неорганічних та органічних кислот. Застосовують так само, що й за п. 25.

32. Сталь 15X18H10Г2С2М2ТЛ корозійностійка в низці органічних і неорганічних кислот, більш стійка до МКК, ніж сталь 15X18H10Г2С2М2Л. Застосовують так само, що й за п. 25.

12.1.6. Сталі аустенітного класу

33. Сталь 10X18H9Л корозійностійка, жаростійка до 750 °С. Нестійка в сірчистих середовищах. За вмісту вуглецю до 0,07 % стійка до МКК. Застосовують для арматури хімічної промисловості, колекторів вихлопних систем, деталей пічної арматури, плит для травильних кошиків та інших деталей, що експлуатуються за температури до 400 °С.

34. Сталь 12X18H9ТЛ корозійностійка та жаростійка до 750 °С, жароміцна до 600 °С. Має високу стійкість до газової та МКК. Застосовують для арматури хімічної промисловості, колекторів вихлопних систем, деталей пічної арматури, ящиків і кришок для травильних кошиків та інших деталей.

35. Сталь 10X18H11БЛ корозійностійка, жароміцна за температури до 800 °С. Нечутлива до МКК. Застосовують для тих самих деталей, що й за п. 34, а також для деталей газових турбін і турбокомпресорів, що експлуатуються при малих навантаженнях. Крім того, сталь використовують для апаратів целюлозної, азотної, харчової та миловарної промисловості.

36. Сталь 07X17H16ТЛ корозійностійка. Має низьку магнітну сприйнятливість, високу стійкість до газової та МКК, задовільну оброблюваність різанням. Застосовують для литих фасонних деталей відповідного призначення, до яких ставляться вимоги щодо низької магнітної сприйнятливості, високої корозійної стійкості та задовільної оброблюваності різанням.

37. Сталь 12X18H12МЗТЛ корозійностійка, жароміцна і не піддається МКК за температури до 800 °С. Застосовують для деталей, які контактують із сірчистою, фосфорною, мурашиною, оцтовою та іншими кислотами, а також для деталей, які тривалий час експлуатуються під навантаженням за температури до 800 °С.

38. Сталь 55X18Г14С2ТЛ корозійностійка, жаростійка до температури 950 °С. У середовищі сірчистої кислоти нестійка. Застосовують для тих же деталей, що і сталь 40X24H12СЛ.

39. Сталь 15X23H18Л жаростійка до 900 °С. За температури 600...800 °С схильна до окрихчування. Застосовують для деталей установок хімічної та нафтової промисловості, газопроводів, камер згоряння соплових апаратів. Виготовляють деталі пічної арматури, які не вимагають високої ме-

ханічної міцності.

40. Сталь 20X25H19C2Л корозійностійка, жаростійка за температури до 1100 °С. Застосовують для реторт відпалювання, частин печей та ящиків для цементації.

41. Сталь 18X25H19СЛ корозійностійка, кислотостійка, жаростійка. Застосовують для парових і газових турбін, котельних установок, лопаток і вінців компресорів і соплових апаратів турбін, інших деталей, що експлуатуються за високих температур.

42. Сталь 45X17Г13Н3ЮЛ корозійностійка, в тому числі і в сірчистих середовищах. Жаростійка за температури до 900 °С, жароміцна. Застосовують для деталей відпускних, загартувальних і цементаційних печей, подових плит, коробів, тиглів для соляних ванн та інших деталей, які експлуатуються за високих температур. Рекомендується як замітник сталі марки 40X24H12СЛ.

43. Сталь 35X18H24СЛ корозійностійка, жаростійка за температури до 1100...1200 °С, жароміцна. Застосовують для деталей, які експлуатуються за високих температур у сильнонавантаженому стані (пічні конвеєри, шнеки, кріпильні деталі).

44. Сталь 31X19H9МВБТЛ жароміцна. Застосовують для робочих колес турбін турбокомпресорів, турбінних і напрямних апаратів.

45. Сталь 12X18H12БЛ корозійностійка, жароміцна за температури до 650 °С. Застосовують для литих деталей енергоустановок з тривалим терміном експлуатації за температур 600...650 °С та обмеженим терміном до 700 °С.

46. Сталь 08X17H34B5T3Ю2РЛ жаростійка за температури до 1000 °С. Застосовують для соплових і робочих лопаток газових турбін, суцільнолитих роторів та інших деталей, які експлуатуються за температури до 800 °С.

47. Сталь 15X18H22B6M2РЛ жаростійка за температури до 1000 °С, жароміцна за температури до 800 °С. Застосовують для деталей авіаційних двигунів (робочі та соплові лопатки газових турбін та ін.).

48. Сталь 20X21H46B8РЛ жаростійка за температури до 1000 °С, жароміцна за температури до 800 °С. Застосовують так само, як і з п. 47.

49. Сталь 110Г13Л має високу опірність зношуванню за одночасної дії високих тисків або ударних навантажень. Застосовують для корпусів вихрових і кульових млинів, щік дробарок, трамвайних, залізничних стрілок і хрестовин, гусеничних траків, зубів ковшів екскаваторів та інших деталей, що працюють на ударне зношування.

50. Сталь 110Г13ФТЛ має високу опірність ударно-абразивному зношуванню, високу холодостійкість. Застосовують для корпусів вихрових і кульових млинів, щік дробарок, трамвайних залізничних стрілок і хрестовин, гусеничних траків, зірочок, зубів ковшів екскаваторів та інших деталей, що працюють на ударне зношування. Застосовують для деталей металургійного та гірничозбагачувального устаткування.

12.2. Режими термічного оброблення ливарних неіржавких сталей

12.2.1. Сталі мартенситного класу

51. Сталь 20X13Л. Відпалювання за температури 940...960 °С; загартування від 1040...1060 °С з охолодженням у маслі або на повітрі; відпуск за температури 740...760 °С з охолодженням на повітрі.

52. Сталь 08X14НДЛ. Загартування за температури 1000...1200 °С з охолодженням на повітрі; відпуск за температури 660...700 °С з охолодженням на повітрі.

53. Сталь 09X16Н4БЛ¹. Нормалізація за температури 1040...1060 °С з охолодженням на повітрі; відпуск за температури 600...650 °С з охолодженням на повітрі; загартування від 950...1050 °С з охолодженням у маслі або на повітрі; відпуск за температури 600...620 °С з охолодженням на повітрі.

54. Сталь 09X16Н4БЛ². Нормалізація за температури 1040...1060 °С з охолодженням на повітрі; загартування від 950...1050 °С з охолодженням у маслі; відпуск за температури 290...310 °С з охолодженням на повітрі.

55. Сталь 09X17Н3СЛ¹. Відпалювання за температури 660...670 °С; загартування від 1040...1060 °С з охолодженням у маслі; відпуск за температури 300...350 °С з охолодженням на повітрі.

56. Сталь 09X17Н3СЛ². Загартування від 1040...1060 °С з охолодженням у маслі; відпуск за температури 540...560 °С з охолодженням на повітрі.

57. Сталь 09X17Н3СЛ³. Відпуск за температури 670...690 °С з охолодженням на повітрі.

58. Сталь 40X9С2Л. Без термічного оброблення.

59. Сталь 10X17НДЛ. Нормалізація за температури 940...960 °С з охолодженням при швидкості 30 °С/год; відпуск 650...680 °С.

60. Сталь 20X12ВНМФЛ. Відпалювання, відпускання за температури 710...730 °С протягом 10...15 год з охолодженням разом з піччю до 200 °С; подвійна нормалізація 1100 і 1050 °С з охолодженням зі швидкістю, не меншою 300 °С/год з обдуванням повітрям; відпуск за температур 710...730 °С протягом 10...15 год з охолодженням разом з піччю до 200 °С. Дрібні виливки (товщиною стінки до 5 мм) можуть піддаватись нормалізації за температури 1070...1090 °С.

61. Сталь 85X4МФ2В6Л. Відпалювання за температури 860...880 °С з витримуванням і наступним охолодженням разом з піччю до 740...760 °С з витримуванням, подальшим охолодженням разом з піччю до 500 °С і наступним охолодженням на повітрі.

62. Сталь 95X4М4Ф2В6Л. Відпалювання за температури 860...880 °С з витримуванням і наступним охолодженням разом з піччю до 740...760 °С з витримуванням, подальшим охолодженням з піччю до 500 °С і наступним охолодженням на повітрі.

12.2.2. Сталі мартенситно-феритного класу

63. Сталь 15X13Л. Відпалювання за температур 940...960 °С; загартування від 1040...1060 °С з охолодженням у воді, маслі або на повітрі; відпуск за температур 740...760 °С з охолодженням на повітрі.

64. Сталь 15X14НЛ¹. Нормалізація за температур 930...950 °С, охолодження на повітрі; відпуск за температур 680...740 °С, охолодження разом з піччю або на повітрі.

65. Сталь 15X14НЛ². Гомогенізаційне відпалювання за температур 1020...1100 °С з охолодженням на повітрі; нормалізація за температур 930...950 °С з охолодженням на повітрі; відпуск за температур 680...740 °С з охолодженням разом з піччю або на повітрі.

66. Сталь 08X12Н4ГСМЛ. Нормалізація за температур 950...1050 °С з охолодженням на повітрі; відпуск за температур 570...620 °С з охолодженням з піччю або на повітрі.

12.2.3. Сталь феритного класу

67. Сталь 15X25ТЛ. Без термічного оброблення.

12.2.4. Сталі аустенітно-мартенситного класу

68. Сталь 08X15Н4ДМЛ. Загартування від 1090...1110 °С з охолодженням на повітрі. Відпуск за температур 600...620 °С з охолодженням на повітрі.

69. Сталь 08X14Н7МЛ. Загартування від 1030...1050 °С (нагрівання в захисному середовищі) з охолодженням на повітрі; оброблення холодом за температур мінус 50...70 °С; відпуск за температур 250...350 °С з охолодженням на повітрі.

70. Сталь 14X18Н4Г4Л. Загартування від 1020...1070 °С з охолодженням у воді.

12.2.5. Сталі аустенітно-феритного класу

71. Сталь 12X25Н55ТМФЛ. Загартування від 1140...1160 °С з охолодженням разом з піччю до 970...990 °С і подальшим охолодженням у маслі.

72. Сталь 35X23Н7СЛ. Без термічного оброблення.

73. Сталь 40X24Н12СЛ. Загартування від 1040...1060 °С з охолодженням у воді, маслі або на повітрі.

74. Сталь 20X20Н14С2Л. Нормалізація за температур 1100...1150 °С з охолодженням на повітрі.

75. Сталь 16X18Н12СТЮЛ. Загартування від 1150...1200 °С з охолодженням на повітрі.

78. Сталь 10X18Н3ГЗД2Л. Нормалізація за температур 1070...1100 °С з охолодженням на повітрі. Відпуск перший за температур 790...810 °С з охолодженням до 20 °С. Відпуск другий за температур 610 °С.

79. Сталь 12Х21Н5Г2СЛ. Загартування від 1050...1100 °С з охолодженням у воді або на повітрі.

80. Сталь 12Х21Н5Г2СТЛ. Загартування від 1050...до 1100 °С з охолодженням у воді або на повітрі.

81. Сталь 12Х21Н5Г2СМ2Л. Загартування від 1050...1100 °С з охолодженням у воді або на повітрі.

82. Сталь 12Х19Н7Г2САЛ. Загартування від 1050...1100 °С з охолодженням у воді або на повітрі.

83. Сталь 12Х21Н5Г2САЛ. Загартування від 1050...1100 °С з охолодженням у воді або на повітрі.

84. Сталь 07Х18Н10Г2С2М2Л. Загартування від 1050...1100 °С з охолодженням у воді або на повітрі.

85. Сталь 15Х18Н10Г2С2М2Л. Загартування від 1050...1100 °С з охолодженням у воді або на повітрі.

86. Сталь 15Х18Н10Г2С2М2ТЛ. Загартування від 1050...1100 °С з охолодженням у воді або на повітрі.

12.2.6. Сталі аустенітного класу

87. Сталь 10Х18Н9Л. Загартування від 1050...1100 °С з охолодженням у воді, маслі або на повітрі.

88. Сталь 07Х17Н16ТЛ. Загартування від 1050...1100 °С з охолодженням у воді.

89. Сталь 12Х18Н9ТЛ. Загартування від 1050...1100 °С з охолодженням у воді, маслі або на повітрі.

90. Сталь 10Х18Н11БЛ. Загартування від 1050...1100 °С з охолодженням у воді.

91. Сталь 12Х18Н12М3ТЛ. Загартування від 1100...1150 °С з охолодженням у воді.

92. Сталь 55Х18Г14С2ТЛ. Без термічного оброблення.

93. Сталь 15Х23Н18Л. Загартування від 1050...1100 °С з охолодженням у воді.

94. Сталь 20Х25Н19С2Л. Загартування від 1090...1110 °С з охолодженням у воді, маслі або на повітрі.

95. Сталь 18Х25Н19СЛ. Загартування від 1090...1110 °С з охолодженням у воді маслі або на повітрі.

96. Сталь 45Х17Г13Н3ЮЛ. Без термічного оброблення.

97. Сталь 15Х18Н22В6МРЛ. Старіння за температури 790...810 °С протягом 12...16 год з охолодженням на повітрі.

98. Сталь 08Х17Н34В5Т3ЮЛ. Загартування від 1140...1160 °С з охолодженням на повітрі. Старіння за температур 740...760 °С протягом 32 год з охолодженням на повітрі.

99. Сталь 20Х21Н4В8РЛ. Старіння за температур 890...910 °С протягом 5 год з охолодженням на повітрі.

100. Сталь 35Х18Н24С2Л. Загартування від 1140...1160 °С з охолодженням у воді.

101. Сталь 31Х19Н9МВБТЛ. Загартування від 1150...1180 °С з охолодженням у воді; старіння за температур 700...800°С.

102. Сталь 12Х18Н12БЛ. Загартування від 1170...1190 °С з охолодженням на повітрі. Подвійне старіння: за температур 790...810 °С протягом 10 год і за температур 740...760 °С протягом 16 год.

103. Сталь 110Г13Х2БРЛ. Загартування від 1050...1100 °С з охолодженням у воді.

104. Сталь 110Г13ФТЛ. Загартування від 1050...1100 °С з охолодженням у воді.

105. Сталь 130Г14МФАЛ. Загартування від 1120...1150 °С з охолодженням у воді.

106. Сталь 120Г10ФЛ. Загартування від 1050...1100 °С з охолодженням у воді.

107. Сталь 110Г13Л. Загартування від 1050...1100 °С з охолодженням у воді.

Примітки: ¹, ², ³ – режими термічного оброблення, що забезпечують рівень механічних властивостей відповідно до наведених у табл. 12.1.

Таблиця 12.1. Механічні властивості ливарних неіржавких сталей

Марка сталі	Границя плинності σ_T , МПа	Тимчасовий опір σ_B , МПа	Відносне подовження δ , %	Відносне звуження ψ , %	Ударна в'язкість КСУ, Дж/м ²
Сталі мартенситного класу					
20Х13Л	441	589	16	40	392
08Х14НДЛ	510	648	15	40	590
09Х16Н4БЛ ¹	785	932	10	—	392
09Х16Н4БЛ ²	883	1128	8	—	245
09Х17Н3СЛ ¹	736	981	8	20	196
09Х17Н3СЛ ²	736	932	8	20	245
09Х17Н3СЛ ³	638	834	6	10	—
40Х9СЛ	Не нормується				
10Х12НДЛ	441	638	14	30	294
20Х12НМФ	491	589	15	30	294
85Х4М5Ф2В6Л	Не регламентується				
90Х4М4Ф2ВЛ	Те саме				
Сталі мартенситно-феритного класу					
15Х13Л	392	540	16	45	491
15Х14НЛ ¹	289	481	15	50	294
15Х14НЛ ²	383	579	15	50	441
08Х12Н4ГСМ	549	736	15	35	540
Сталь феритного класу					
15ХЛ	275	441	—	—	—

Закінчення табл. 12.1

Марка сталі	Границя плинності σ_T , МПа	Тимчасовий опір σ_B , МПа	Відносне подовження δ , %	Відносне звуження ψ , %	Ударна в'язкість КСУ, Дж/м ²
Сталі аустенітно-мартенситного класу					
08X15H4ДМЛ	589	736	17	45	981
08X14H7МЛ	687	981	10	25	294
14X18H4Г4Л	245	441	25	35	981
Сталі аустенітно-феритного класу					
12X25H5ТМФЛ	392	540	12	40	294
35X23H7СЛ	245	540	—	—	—
40X24H12СЛ	245	491	20	28	—
20X20H14C2Л	245	491	20	25	—
16X18H12C4ТЮЛ	245	491	15	30	275
10X18H3Г3Д2Л	491	687	12	25	294
12X21H5Г2СЛ	343	549	22	20	590
12X21H5Г2СТЛ	343	549	12	10	196
12X21H5Г2СМ2Л	343	549	22	20	590
12X19H7Г2САЛ	240	481	20	30	590
12X21H5Г2САЛ	334	657	18	20	245
07X18H10Г2C2М2Л	177	432	30	35	441
15X18H10Г2C2М2Л	216	432	30	35	785
15X18H10Г2СМ2ТЛ	196	432	20	—	—
Сталі аустенітного класу					
10X18H9Л	177	441	25	35	981
12X18H9ТЛ	196	441	25	32	590
10X18H11БЛ	196	441	25	35	590
07X17H16ТЛ	196	441	40	55	392
12X18H12М3ТЛ	216	441	25	30	590
55X18Г14C2Л	—	638	6	—	147
15X23H18Л	294	540	25	30	981
20X25H19C2Л	245	491	25	28	—
18X25H19СЛ	245	491	25	28	—
45X17Г13H3ЮЛ	—	491	10	18	981
15X18H22B6M2РЛ	196	491	5	—	—
08X17H34B5T3Ю21РЛ	687	785	3	3	—
20X21H46B8РЛ	—	441	6	8	294
35X18H24C2Л	294	540	20	25	—
31X19H9MBТЛ	294	540	12	—	294
12X18H12БЛ	196	392	13	18	196
110Г13Х2БРЛ491	491	—	22	30	1962
130Г14ХМФАЛ	441	883	50	40	2453

13. ЗБЕРІГАННЯ НЕІРЖАВКИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

Напівфабрикати та деталі з неіржавких сталей і сплавів краще зберігати в закритих приміщеннях на стелажах із висушеної деревини. Волога деревина, яка містить смоли та органічні кислоти (мурашину, оцтову і т.ін.), у контакті з неіржавкими сталями спричиняє їх корозію.

Приміщення для зберігання неіржавких матеріалів має бути ізольованим від місця зберігання вуглецевих сталей. Наявність найменших поверхневих пошкоджень (заглиблень, подряпин, тріщин) сприяє накопиченню вологи та пилоподібної іржі чорних металів. Забруднення стають центрами розвитку корозії та знижують корозійну стійкість неіржавких сплавів і сталей. Листова сталь у стані поставки після холодного прокатування та травлення має нижчу корозійну стійкість, ніж полірована.

Протягом зберігання час від часу неіржавкий метал потрібно очищувати від пилу та інших забруднень.

Під час зберігання в атмосферних умовах поверхня неіржавких сталей тьмяніє і набуває сірого відтінку. При цьому корозійна стійкість не знижується, а отже зміна зовнішнього вигляду поверхні не є бракувальною ознакою.

Роботу на складах неіржавких металів потрібно виконувати в бавовняних сухих рукавицях, аби запобігати забрудненню металу потом.

Для захисту від дії надлишкової вологості в приміщеннях для збереження металів необхідно тримати зневоджувальний силікагель.

Пакування і транспортування неіржавких сталей і сплавів належить виконувати відповідно до положень ГОСТ 7350–77.

14. НОРМАТИВНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ РД РТМ 26-07-225–79 [8] ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ У ХІМІЧНОМУ МАШИНО- ТА АПАРАТОБУДУВАННІ

У цьому розділі наведено рекомендації щодо вибору конструкційних металевих матеріалів для виготовлення хімічних апаратів і трубопровідної арматури, які перебувають у контакті з чистими хімічно агресивними середовищами (табл. 14.1) і в умовах конкретних хімічних виробництв (табл. 14.2).

Наведені в табл. 14.1 і 14.2 сталі та сплави мають швидкість корозії 0,05...0,5 мм/рік. Матеріали для середовищ, що контактують між собою, підібрані з таким розрахунком, щоб корпусні пристрої піддавались корозії зі швидкістю 0,1...0,5 мм/рік, а деталі вузлів затворів – зі швидкістю, не більшою за 0,05 мм/рік.

Під час вибирання матеріалів для хімічного устаткування виробництв, що потребують особливо високого рівня чистоти продуктів, дотримано вимоги, щоб швидкість корозії конструкційних матеріалів не перевищувала 0,05 мм/рік.

Таблиця 14.1. Сталі та сплави, призначені для контакту з чистими хімічними речовинами

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °С	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів: клапана, золотника
Азотна кислота, 0...90	20		20X13	20X13	20X13
Те саме, 0...20	$t_{\text{кип}}$		14X17H2	14X17H2	14X17H2
Те саме, 0...30	До 80		08X22H6T 12X18H9TЛ 12X18H9T 08X18H10T	08X22H6T 12X18H9T 08X18H10T	08X22H6T 12X18H9TЛ 12X18H9T 08X18H10
Те саме, 0...60	До 60				
Те саме, 0...70	До 30				
Те саме, 0...40	$t_{\text{кип}}$				
Те саме, 0...80	До 60		16X18H12C4TЮЛ 15X18H12C4TЮЛ	15X18H12C4TЮ	16X18H12C4TЮЛ 15X18H12C4TЮЛ
Те саме, 0...60	До 80				
Те саме, 0...98	До 80	Атмосферний	Чавун КЧ 30	Сталь Ст3 Сталь 35	Сталь 25Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5 Чавун КЧ 30
Аміак рідкий і газоподібний	–30...150				
	–40...400		Сталь 25Л, Сталь 20Л Сталь Ст5 Сталь Ст3	Сталь Ст5 Сталь 35 20X13 14X17H2	Сталь 25Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5, 20X13
	–70...150		14X17H2 09Г2С 20ХМ3А	14X17H2 09Г2С 20ХМ3А	14X17H2 09Г2С 20ХМ3А

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °C	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів: клапана, золотника
Винна кислота, 10...50	До 20	Атмосферний	14X17H2 14X18H4ГЛ	14X17H2 14X18H4ГЛ	14X17H2 14X18H4ГЛ
	Від 20 до $t_{\text{кип}}$		08X22H6ТЛ 10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H9Т 12X18H9Т 12X18H9 05X18AH5ФЛ 08X21H6M2Т 12X18H12M3ТЛ	08X22H6Т 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9 08X21H6M2Т 10X17H13M3Т	08X22H6ТЛ 10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H9Т 12X18H9Т 12X18H9 05X18AH5ФЛ 12X18H12M3ТЛ 10X17H13M3Т
Те саме, від 50 до насичення	Від 20 До $t_{\text{кип}}$				
Вода промислова та водогінна	До 100°C	Атмосферний	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст5 Сталь Ст3 20Х213 14Х17Н23 Латунь ЛС59 - 1	Сталь 35 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2 Латунь ЛС59-1	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3 20Х13 14Х17Н2 Латунь ЛЖМц59-1-1
Вода морська	-2...40		12Х18Н12М3Т 10Х17Н13М3Т Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Чавун КЧ30 Бронза ОЦ8-4 Титан ВТ1-0 Титан ОТ-4 Титан ТЛ-В1 Титан ТЛ-3	10Х17Н13М3Т Бронза АЖМЦ 9-4-4-1 Сталь Ст5 Сталь 35 Бронза ОЦ 8-4 Титан ВТ 1-0 Титан ОТ - 4	Чавун СЧ 21 Чавун КЧ 30 Бронза ОЦ 8-4 Титан ВТ 1-0 Титан ОТ-4
Водень	До 250	До 5,0	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5	Сталь 35 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2
	До 290	До 1,6	09ГС	09ГС	09ГС
	До 230	До 10		20Х13	20Х13
	До 200	До 30		14Х17Н2	14Х17Н2
	До 475	До 1,6	15ХМ	35ХМ	15ХМ
	До 345	До 10		20Х13	20Х13
	До 250	До 30		14Х17Н2	14Х17Н2

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °С	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів: клапана, золотника
Водень	До 550	До 30	20Х5МЛ	20Х13 14Х17Н2	20Х5МЛ 20Х13 14Х17Н2
	До 600	Не обмежений	12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10ТЛ 12Х18Н9Т	08Х18Н10Т 12Х12Н9Т	12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т
Оксид вуглецю, до 100	До 250	До 0,1	Чавун СЧ 18 Чавун СЧ 21 Чавун ВЧ 42 Чавун КЧ30	Сталь 35 Сталь Ст5 20Х13	Чавун СЧ 18 Чавун СЧ 21 Чавун ВЧ 42 Чавун КЧ 30
	До 425	До 20	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5		Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5
Те саме, до 15	До 550	До 16	15Х5М 20Х5М	35ХМ	15Х5М 20Х5М
Оксид вуглецю, до 75	До 600	До 32	10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 12Х12Н9Т 08Х18Н10Т 12Х18Н9	12Х18Н9Т 08Х18Н10Т 12Х18Н9	10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т 12Х18Н9
Гідроксид калію, до 50	До 20	Атмосферний	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст5 Сталь Ст3	Сталь 35 Сталь Ст5 20Х13	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст5 20Х13
Те саме, до 30	Від 20 до $t_{\text{кип}}$		08Х22Н6Т 10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10ТЛ 12Х18Н9Т 12Х18Н9	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т 12Х18Н9	08Х22Н6Т 10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9
Те саме, до 68	120		08Х21Н6М2Т 12Х18Н12М3ТЛ	08Х21Н6М2Т 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 12Х18Н12М3ТЛ 10Х17Н12М3Т
Те саме, до 50	Від 20 до $t_{\text{кип}}$		ХН78Т	ХН78Т	ХН78Т
Те саме, будь-яка концентрація			ХН78Т	ХН78Т	ХН78Т
Гідроксид кальцію, будь-яка концентрація	20	Атмосферний	Чавун СЧ 18 Чавун СЧ21 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5	Сталь Ст5 Сталь 35 20Х13 14Х17Н2	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °С	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів: клапана, золотника
Гідроксид кальцію, будь-яка концентрація	Від 20 до $t_{\text{кип}}$	Атмосферний	20Х13 14Х17Н2 14Х18Н4Г4Л 05Х18АН5ФЛ	20Х13 14Х17Н2	20Х13 14Х17Н2 14Х18Н4Г4Л 05Х18АН5ФЛ
Кисень	–15...150	До 1,6	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21	Сталь 35 Сталь Ст5	209Х13 14Х17Н2 10Х18Н9Л 12Х18Н9Т
	–30...150		Чавун КЧ30 Чавун ВЧ42		
	–40...150		Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5		
	–253... ...150	До 6,4	10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9	08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9	10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9
Лимонна кислота, до 5	До 40	Атмосферний	14Х17Н2 14Х18Н4ГЛ	14Х17Н2 08Х18Н10Т	14Х17Н2 14Х18Н4Г4Л
Те саме, до 10	$t_{\text{кип}}$		08Х22Н6Т 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т
Те саме, до 25	До 80		08Х18Н10Т 05Х18АН5ФЛ	08Х18Н10Т	08Х18Н9Т 05Х18АН5ФЛ
Те саме, до 50	До 60		10Х17Н13М3Т 12Х18Н12М3ТЛ	10Х17Н13М3Т	10Х17Н13М3Т 12Х18Н12М3ТЛ
Те саме, до 50	$t_{\text{кип}}$		06ХН28МДТ 05Х20Н25М3Д2ТЛ	06ХН28МДТ	06ХН28МДТ 05Х20Н25М3Д2ТЛ
Лимонна кислота, будь-яка концентрація	$t_{\text{кип}}$				
Масляна кислота, будь-яка концентрація	20	Атмосферний	Сталь 20 Сталь 25Л Сталь Ст5 Сталь Ст3	Сталь 35 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2	Сталь 20 Сталь 25Л Сталь Ст5 Сталь Ст3
	$t_{\text{кип}}$		08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 05Х18Н10Т 05Х18АН5ФЛ	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 05Х18АН5ФЛ
Молочна кислота, до 5	До 40	Атмосферний	14Х17Н2	14Х17Н2	14Х17Н2
Те саме, до 75	До 50		08Х22Н6Т, 12Х18Н9Т 12Х18Н10Т 08Х18Н10Т	08Х21Н6М2Т 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 12Х18Н12М3ТЛ 10Х17Н13М3Т
Те саме, до 20	До 60		10Х18Н9Л 05Х18АН5ФЛ		
Те саме, до 5	До 80				

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °С	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів: клапана, золотника
Молочна кислота, будь-яка концентрація	До 20	Атмосферний	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 12Х18Н10Т 08Х18Н10Т 10Х18Н9Л 05Х18АН5ФЛ	08Х21Н6М2Т 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 12Х18Н12М3ТЛ 10Х17Н13М3Т
Молочна кислота, до 10	$t_{\text{кип}}$		08Х21Н6М2Т 12Х18Н12М3Т 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 12Х18Н12М3ТЛ 10Х17Н13М3ТЛ
Те саме, до 50	До 100				
Те саме, 10...85	$t_{\text{кип}}$		06ХН28МДТ 05Х20Н25М3Д2ТЛ	06ХН28МДТ	06ХН28МДТ 05Х20Н25М3Д2ТЛ
Мурашина кислота, будь-яка концентрація	До 20	Атмосферний	08Х22Н6Т	08Х22Н6Т	08Х22Н6Т
	$t_{\text{кип}}$		Н70МФ	Н70МФ	Н70МФ
Те саме, до 5	До 20		14Х17Н2 14Х18Н4ГЛ	10Х17Н13М3Т	10Х17Н13М3Т 12Х18Н12М3ТЛ
	$t_{\text{кип}}$		10Х17Н13М3Л 12Х18Н12М3ТЛ	10Х17Н13М3Т	10Х17Н13М3Т 12Х18Н12М3ТЛ
Те саме, до 25	$t_{\text{кип}}$		06ХН28МДТ 05Х20Н25М3Д2ТЛ	06ХН28МДТ	06ХН28МДТ 05Х20Н25М3Д2ТЛ
Те саме, до 45			12Х18Н9Т 12Х18Н10ТЛ	12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	12Х18Н9Т 12Х18Н9ТЛ
Те саме, до 50			05Х20Н25М3Д2ТЛ 06ХН28МДТ	06ХН28МДТ	06ХН28МДТ 05Х20Н25М3Д2ТЛ
Те саме, до 80	До 60		10Х17Н13М3Т 12Х18Н12М3ТЛ	10Х17Н13М3Т	10Х17Н13М3Т 12Х18Н12М3ТЛ
Те саме, до 100	$t_{\text{кип}}$		12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т
Натрію гідрат окису, до 50	До 20	Атмосферний	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст5 Сталь Ст3	Сталь 35 Сталь Ст3 20Х13	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст5 Сталь Ст3 20Х13
Те саме, до 70	До 90				
Те саме, до 30	До 160		10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9	08Х18Н10 12Х18Н9Т 12Х18Н9	10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10ТЛ 12Х18Н9Т 12Х18Н9
Те саме, до 70	До $t_{\text{кип}}$	Атмосферний	12Х18Н12М3ТЛ 10Х17Н13М3Т	10Х17Н13М3Т	12Х18Н12М3ТЛ 10Х17Н13М3Т
Те саме, до 50	До 120		05Х20Н25М3Д2ТЛ 06ХН28МДТЛ	06ХН28МДТ	05Х20Н25М3Д2ТЛ 06ХН28МДТ
	До 140				
Гідроксид натрію, будь-яка концентрація	Від 20 до $t_{\text{кип}}$			ХН78Т	ХН78Т

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °C	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів: клапана, золотника
Оцтова кислота, до 10	$t_{\text{кип}}$	Атмосферний	10X14Г14Н4Т 14X17Н2	10X14Г14Н4Т 14X17Н2	10X14Г14Н4Т 14X17Н2
Те саме, до 60	До 100		08X22Н6Т 12X18Н9ТЛ 08X18Н10Т 12X18Н9Т	08X22Н6Т 12X18Н9Т 12X18Н10Т	08X22Н6Т 12X18Н9Т 12X18Н9ТЛ
Те саме, будь-яка концентрація	До 40		08X21Н6М2Т 12X18Н12М3ТЛ 10X17Н13М3Т	08X21Н6М2Т 10X17Н13М3Т	08X21Н6М2Т 12X18Н12М3ТЛ 10X17Н13М3Т
Те саме, до 70	$t_{\text{кип}}$		12X18Н9ТЛ 08X18Н10Т 12X18Н9Т	08X22Н6Т 12X18Н9Т 08X18Н10Т	08X22Н6Т 12X22Н9Т 12X18Н9ТЛ
Те саме, до 50	До 140		12X18Н12М3ТЛ 10X17Н13М3Т	10X17Н13М3Т	12X18Н12М3ТЛ 10X17Н13М3Т
Те саме, до 25	До 145		Титан ВТ1-0 Титан ОТ-4 Титан ТЛВ-1 Титан ВТ1Л Титан ТЛВ-2 Титан ВТ5Л Титан ТЛЗ Титан ТЛ5	Титан ВТ1-0 Титан ОТ-4	Титан ВТ1-0 Титан ОТ-4
Те саме, до 98	$t_{\text{кип}}$		000Н70М27Ф Н70МФ 0X15Н65М16В	000Н70М27Ф Н70МФ 0X15Н65М16В	000Н70М27Ф Н70МФ 0X15Н65М16В
Те саме, до 98	До 90		Чавун СЧ18 Чавун СЧ21	Сталь 35 Сталь Ст3 20X13	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21
Те саме, до 5	До 165		Чавун КЧ30 Чавун ВЧ42		Чавун КЧ30 Чавун ВЧ42
Теж саме, до 25	До 140		Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5 Сталь 15ХМ Сталь 20Х5МЛ		Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5 Сталь 15Х5М Сталь 20Х5М
Те саме, будь-яка концентрація	До 50		14X17Н2 14X18Н14Г4Л		14X17Н2 14X18Н14Г4Л
Те саме, до 50	$t_{\text{кип}}$		Чавун СЧ18 Чавун СЧ21	Сталь 35 Сталь 5	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21
Те саме, 98... 100	До 90		Чавун КЧ30		Чавун КЧ 30 Сталь 20Л, Сталь 25Л Сталь 20, Сталь Ст3 Сталь Ст5
Оцтова кислота, 99,8	До 200				
Оцтова кислота, будь-яка концентрація	До 100				
	$t_{\text{кип}}$				
Повітря промислове сухе та вологе	-15...50	Атмосферний	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21	Сталь 35 Сталь Ст3 20X13	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21
	-30...50		Чавун КЧ30 Чавун ВЧ42		Чавун КЧ30 Чавун ВЧ42
	-40...50		Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5 Сталь 15ХМ Сталь 20Х5МЛ		Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5 Сталь 15Х5М Сталь 20Х5М
	-70...50		14X17Н2 14X18Н14Г4Л		14X17Н2 14X18Н14Г4Л
Природний газ без агресивних домішок	-10...100	До 0,6	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21	Сталь 35 Сталь 5	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21
	-30...150		Чавун КЧ30		Чавун КЧ 30 Сталь 20Л, Сталь 25Л Сталь 20, Сталь Ст3 Сталь Ст5

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °C	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів: клапана, золотника
Природний газ без агресивних домішок	–40...450	Не обмежений	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5	Сталь 35 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5 20Х13, 14Х17Н2
	–70...150		09Г2С 20ХМ3А 14Х17Н2	09Г2С 20ХМ3А 14Х17Н2	09Г2С 20ХМ3А 14Х17Н2
Природний газ, що містить сірководень будь-якої концентрації	–40...450	Не обмежений	Сталь 20 Сталь 25Л	Сталь Ст5 Сталь 35 20Х13 14Х17Н2	Сталь 20 Сталь 25Л 20Х13 14Х17Н2
Природний вологий газ, що містить сірководень, до 0,1	–253... ...600		12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9	08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9	12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9
Природний вологий газ із сірководнем, понад 0,1	–253... ...600		10Х17Н13М3Т 12Х18Н12М3ТЛ	10Х17Н13М3Т	10Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 12Х18Н9
Сірчана кислота, 90...96	До 20	Атмосферний	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5	Сталь 35 Сталь Ст5	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5
Олеум з умістом вільного SO ₃ , до 23	До 20				
Те саме	До 70				
Сірчана кислота, 97...99	До 80		08Х22Н6Т 10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9	8Х22Н6Т 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9 ХН35ВТ Х32Н8	08Х22Н6Т 10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9
Те саме, до 10	До 20		08Х21Н6М2Т 12Х18Н12М3ТЛ 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 10Х17Н13М3Т 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 12Х18Н9ТЛ 10Х17Н13М3Т
Те саме, 90... 93	До 80				
Те саме, до 5	До 50				
Сірчана кислота, будь-яка концентрація	До 80		05Х20Н25М3Д2ТЛ 06ХН28МДТ	06ХН28МДТ	05Х20Н25М3Д2Т--Л 06ХН28МДТ
Сірчана кислота, до 0,5	До 190				
Те саме, до 25	До 55				
Сірчистий ангідрид сухий	До 450	Атмосферний	10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х19Н9Т 12Х18Н9	08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9 ХН35ВТ Х32НВ	10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9
Соляна кислота, до 0,5	До 20		12Х18Н12М3ТЛ 10Х17Н18М3Т	10Х17Н13М3Т	12Х18Н12М3ТЛ 10Х17Н13М3Т

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °C	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів: клапана, золотника
Соляна кислота, до 10	До 60	Атмосферний	Титан BT1-0 Титан OT-4 Титан BT1Л Титан TЛB1 Титан TЛB2 Титан BT5Л Титан TЛ3	Титан BT1-0 Титан OT-4	Титан BT1-0 Титан OT-4 Титан BT1Л Титан TЛB1 Титан TЛB2 Титан BT5Л Титан TЛ3
Те саме, до 0,5	До 100				
Те саме, до 4	До 130				
Соляна кислота, будь-яка концентрація	До 80		H70MФ 000H70M27Ф	H70MФ 000H70M27Ф	H70MФ 000H70M27Ф
Фосфорна кислота, 0,5	До 85		14X17H2 14X18H4Г4Л 05X18AH5ФЛ	14X17H2	14X17H2 14X18H4Г4Л 05X18AH5ФЛ
Те саме, 80...90	До 20				
Те саме, до 50	До 50				
Те саме, до 65	До 80		08X22H6T 12X18H9TЛ 08X18H10T	08X22H6T 12X18H9TЛ 08X18H10T	08X22H6T 08X18H10T 12X18H9T
Фосфорна кислота будь-яка концентрація	До 20				
Фосфорна кислота, до 45	$t_{\text{кип}}$	Атмосферний	08X21H6M2T 12X18H12M3TЛ 10X17H13M3TЛ	08X21H6M2T 10X17H13M3T XH35BT	08X21H6M2T 12X18H21M3TЛ 10X17H13M3T
Те саме, 50...80	До 100		05X20H25M3ДТЛ 06XH28МДТ	06XH28МДТ	05X20H25M3ДТЛ 06XH28МДТ
Те саме	$t_{\text{кип}}$		000H70M27Ф H70MФ 0X15H65M16B	000H70M27Ф 0X15H65M16B	000H70M27Ф 0X15H65M16B
Хлор сухий і рідкий з умістом води, до 0,05	-70...150		09Г2С	09Г2С	09Г2С
	-40...150		Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст5 Сталь Ст3	Сталь 35 Сталь Ст5	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст5 Сталь Ст3
	150...300		10X18H9Л 12X18H9TЛ 08X18H10T 12X18H9T 12X18H9	08X18H10T 12X18H9T 12X18H9	10X18H9Л 12X18H9TЛ 08X18H10T 12X18H9T 12X18H9
Хлор вологий з умістом води, понад 0,05	До 200		Титан та його сплави: BT1Л, TЛB1, TЛB2, BT5Л, TЛ3, TЛ, BT1-0, OT-4	Титан і його сплави: BT1-0, OT4	Титан і його сплави: BT1-0, OT4

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °С	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів: клапана, золотника
Щавлева кислота, до 2,5	20	Атмосферний	14Х17Н2	14Х17Н2	14Х17Н2
	До 40		08Х22Н6Т 10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9	08Х22Н6Т 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9	08Х22Н6Т 10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9
			08Х21Н6М2Т 12Х18Н12М3Т 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 12Х18Н12М3ТЛ 10Х17Н13М3Т
			05Х20Н25М3Д2ТЛ 06ХН28МДТ	06ХН28МДТ	05Х20Н25М3Д2ТЛ 06ХН28МДТ
			$t_{\text{кип}}$		
Те саме, до 10	До 50				
	До $t_{\text{кип}}$				
Те саме, до 25	До 100				
Щавлева кислота, будь-яка концентрація	$t_{\text{кип}}$		000Н70М27Ф Н70МФ	000Н70М27Ф Н70МФ	000Н70М27Ф Н70МФ

Таблиця 14.2. Сталі та сплави, призначені для контакту з агресивними середовищами певних виробництв

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °C	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
<i>Виробництво аміаку</i>					
Газ, що містить до 97 % метану, насичений паром води за співвідношення пара:газ, як 0,43:1	80	0,15... ...0,17	10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10T 12X18H9 14X18H4ГЛ 05X18AH5ФЛ	08X18H10T 12X18H9T 12X18H9 XH35BT X32H8	10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10T 12X18H9T 14X18H4Г4Л 05X18AH5ФЛ
Парогазова суміш, пара:газ як 1:1	350...400	0,1...0,2			
Суміш: диоксид вуглецю 13...17 %, оксид вуглецю 14...17 %, водень 65 %, метан 0,5...2 %	370...400	0,1...0,2	10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10T 12X18H9 14X18H4ГЛ 05X18AH5ФЛ	08X18H10T 12X18H9T 12X18H9 XH35BT X32H8	10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10T 12X18H9T 14X18H4Г4Л 05X18AH5ФЛ
Природний газ, що містить сірку (до 20 мг/м ³ сірчистих сполук)	380	0,1			
Конвертований газ, що містить оксид вуглецю до 0,35 % і водяну пару	80...200	0,1...0,2	Сталь 20 Сталь 25Л Сталь Ст5 Сталь Ст3	Сталь Ст5 Сталь 35 20X13 14X17H2	Сталь 20 Сталь 25Л Сталь Ст3 Сталь Ст5 20X13, 14X17H2
Очищений від сірчистих сполук газ (уміст сірки до 2,3 мг/м ³)	380	0,1			

Продовження табл. 14.2

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °C	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Суміш: диоксид вуглецю 25 %, оксид вуглецю 2,2 %, водень 69 %, вода	130...180	Атмосферний	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5	Сталь Ст5 Сталь 35 20Х13 14Х17Н2	Сталь 25Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2
Охолоджувальний конденсат з умістом іонів хлору, диоксиду вуглецю та кисню. Суміш: диоксид вуглецю 2,9 %, оксид вуглецю 35 %, водень 60 %, вода	200	3,5			
Суміш: азот 75,5 %, кисень 23,1 %, диоксид вуглецю 0,5 %, інертні гази 1,28 %, механічні домішки 0,002...0,02 г/м ³ . Повітря, очищене від диоксиду вуглецю	20	0,7			
Коксовий газ: водень 60 %, диоксид вуглецю 2 %, азот 3...5 %, сірководень 1,2 %, метан 25 %, оксид вуглецю 5 %, кисень 0,4 %	20	не регламентується	12Х18Н12М3ТЛ 10Х17Н13М3Т	10Х17Н13М3Т	12Х18Н12М3Т 10Х17Н13М3Т
Азотно-воднева суміш: водень 75...84 %, азот 16...25 %	50...100	36	Сталь 25Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5	Сталь Ст5 Сталь 35 20Х13 14Х17Н2	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2
Рідка суміш: азот, оксид вуглецю, метан, кисень	-180	3,0	10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9	08Х18Н9Т 12Х18Н9 ХН35ВТ Х32Н8	10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9
Водяний газ: водень 52...54 %, оксид вуглецю 40 %, сірководень 0,021 %, азот 0,2 %, метан 0,2 %	450...650	0,1			
Багатосірчистий амоній, сірка рідка, розчин сірчистого амонію	20	0,1	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5	Сталь Ст5 Сталь 35 20Х13 14Х17Н2	Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3 20Х13 14Х17Н2
Розчин 2...3 %-й карбонату натрію					

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °C	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Конвертований газ з вмістом 20 % MEA із співвідношенням від 0,17 до 0,7 (моль CO ₂ /моль MEA)	30...60	2,7	08X22H6T 10X18H9Л 08X18H10T 12X18H9T 12X18H9	08X22H10T 12X18H9T 12X18H9 ХН35ВТ Х32Н8	08X22H6 10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10T 12X18H9T 12X18H9
Киплячий 20 %-й MEA, який містить диоксид вуглецю	120...150	0,1...0,2			
Регенерований 20 %-й MEA	40...75	0,1			
Мідно-аміачний розчин	5...10	10...2,5	Сталь 25Л Сталь 20Л	Саль Ст5 Сталь 35	Сталь 25Л Сталь 20Л
Аміак	20...150	1,0...2,5	Сталь Ст3 Сталь Ст3	20X13H2 14X17H2	20X13 14X17H2
Бідистилят	100	30,0	08X22H6T 10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10T 12X18H9T 05X18AH5ФЛ	08X18 12X18H9T 12X18H9 ХН35ВТ Х32Н8	08X22H6T 10X18H99Л 12X18H9ТЛ 08X18H9T 05X18AH5ФЛ
Аміак	-70	0,2			
Розчин лугів з погли- неним диоксидом азоту	20	0,7	08X22H6T 12X18H9ТЛ 08X18H10T 12X18H9T 12X12X18H9	08X22H6T 12X18H9T 08X18H10T ХН35ВТ Х32Н8	08X22H6T 12X18H9ТЛ 08X18H10T 12X18H9T 12X18H9
Вода промислова та водогінна	15...100	0,1	Сталь 20 Сталь 25Л Чавун СЧ21 Чавун КЧ30	Сталь А-12 Сталь Ст5 Сталь 35	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Чавун КЧ30 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь 25 Сталь Ст3 Сталь Ст5
Холодний азот	-196	3,0	Латунь ЛС59-1 Латунь ЛС59-1ЛД	Бронза Бр.АЖ Мц-10-3-1,5	Латунь ЛС 59-1
Повітря	-160	3...20	Бронза Бр.АЖМц-10-3-1,5 12X18H9T 10X18H9ТЛ 08X18H10T	Бр.АЖН-10-4-4 Латунь ЛМц-59-1-1 08X10H10T 12X18H9T 12X18H9T	Латунь ЛС59-1ЛД 10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10T 12X18H9T 12X18H9
Рідкий кисень	-180	0,05... ...0,3	10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10ТЛ 12X18H9T 12X18H9	08X18H10T 12X18H9T 12X18H9	10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10T 12X18H9T 12X18H9

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °С	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Виробництво аміачної селітри					
55 %-ва азотна кислота	20...80	0,1	10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9 08X22H6Т	08X18H109Т 12X18H9Т 12X18H9 ХН35ВТ Х32Н8 08X22H6Т	10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9 08X22H6Т
20...30 %-ва азотна кислота	70...80	Атмосферний			
60 %-й розчин аміачної селітри, азотна кислота, 5...10 г/л	80...120	0,15			
60...90 %-й розчин аміачної селітри, азотна кислота, 5...10 г/л	60...80	Атмосферний			
90 %-й розчин аміачної селітри	30				
Сокова пара 100 г/л аміачної селітри, 200 г/л аміаку					
92 %-й упарений розчин аміачної селітри	20				
Гази дистиляції, 55 %-ва азотна кислота, розчин аміачної селітри	90	Розрідження			
Виробництво слабкої азотної кислоти					
Нітрозний газ	45	0,02	08X22H6Т 10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10ТЛ 12X18H9Т 12X18H9	08X22H6Т 10X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9 ХН35ВТ Х32Н8	08X22H6Т 10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9
Повітря	25	0,1	Сталь 25Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5	Сталь Ст5 Сталь 35 20Х13 14Х17Н2	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2
Аміак	100	1,0			Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2
50 %-ва азотна кислота	25	0,1	08X22H6Т 10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9	08X22H6Т 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9 ХН35ВТ Х32Н8	08X22H6Т 10X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9 ХН35ВТ Х32Н8
Паровий концентрат	45	0,5	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5	Сталь 5 Сталь 35 20Х13 14Х17Н2	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Темпера- тура, °С	Тиск робо- чий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Масло турбінне	70	0,6	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Чавун КЧ30 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5	Сталь А-12 Сталь Ст5 Сталь 35 20Х13 14Х17Н2	Чавун СЧ18
Промислова вода	60	6,0			ЧавунСЧ21
					Чавун КЧ30
					Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5 20Х13
Очищений газоподіб- ний аміак	–35...35	0,1	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5	Сталь Ст5 Сталь 35 20Х13 14Х17Н2	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 СтальСт3 Сталь Ст5 20Х13, 14Х17Н2
Азотна кислота, 60	60	0,5	08Х22Н6Т 10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9 05Х18АН5ФЛ	08Х22Н6Т 10Х18Н9Л 12Х18Н9Т 12Х18Н9 ХН35ВТ Х32Н8	08Х22Н6Т
Розсіл	10	0,6			10Х18Н9Л
Нітрозний газ, оксиди азотної кислоти	120	0,35			12Х18Н9ТЛ
					08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9 05Х18АН5ФЛ
Виробництво концентрованої азотної кислоти					
Суміш кислот: азотної 86 % і сірчаної 8 %	25	0,1	15Х18Н12С4ТЮЛ 16Х18Н12С4ТЮЛ	15Х18Н12С4ТЮ	15Х18Н12С4ТЮ
Меланж	22				16Х18Н12С4ТЮЛ
99 %-ва азотна кислота	До 80				
Сира суміш	10	5,0	08Х22Н6Т 10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9 05Х18АН5ФЛ	08Х22Н6Т 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9 ХН35ВТ Х32Н8	08Х22Н6Т
Сира суміш азотної ки- слоти (56 %) з рідкими оксидами азоту	–5...10	5,2			10Х18Н9Л
Слабка азотна кислота	–3...12	0,3			12Х18Н9ТЛ
					08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9 05Х18АН5ФЛ
Суміш 99 % азотної ки- слоти з рідкими окси- дами азоту (нітролеум)	–3...2	0,3	15Х18Н12С4ТЮ 16Х18Н12С4ТЮЛ	15Х18Н12С4ТЮ	15Х18Н12С4ТЮ
Міцна азотна кислота (нітролеум)	40	0,9			16Х18Н12С4ТЮЛ
Купоросне масло 96 % з механічними домішками	200	0,5	Сталь 25Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5	Сталь Ст5 Сталь 35 20Х13 14Х17Н2	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 14Х17Н2

Продовження табл. 14.2

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °С	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
45...47 %-ва слабка азотна кислота, меланж, 97... 99 %-ва азотна кислота, купоросне масло 96 %-ве	До 100	0,1	0X15H65M16B	0X15H165M16B	0X15H65M16B
Азотна кислота, 99	10...20		15X18H12C4ТЮ	15X18H12C4ТЮ	15X18H12C4ТЮ
Азотна кислота, 100	100	5,0	16X18H12C4ТЮЛ	16X18H12C4ТЮ-Л	
Виробництво гідроксиламіносольфату					
Сірка рідка, волога до 0,7 %, туман сірчаної кислоти	135...145	до 0,4	12X18H12M3ТЛ 10X17H13M3Т	10X17H13M3Т	12X18H12M3ТЛ 10X17H13M3Т
Сірчистий газ з 10...13 % сірчистого ангідриду, 78 % азоту, 10 % кисню, туман сірчаної кислоти	300...400	до 0,3	10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9	08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9	10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9
Промивні кислоти, сірчана кислота 60...70 %	До 80	0,5...0,7	Метал, футерований фторопластом Ф-42, метал емальований		
Сірчистий газ, туман сірчистої кислоти	30...55	До 0,7	05X20H25M3Д2ТЛ 06X28МДТ	06XН28МДТ	05X20H25M3Д2Т 06X28МДТ
Бісульфіт амонію 840 г/л, сульфіт амонію 5,15 г/л	50	від 0,5 до 0,7	Метал, футерований фторопластом Ф-42, метал емальований		
Сульфат амонію-380 г/л, бісульфат амонію-420г/л, (співвідношення 0,9:1,1)	35...40	від 0,5 до 0,7	08X22H6Т 14X18H4Г4Л 12X18H9ТЛ 08X18H9ТЛ 12X18H9Т 05X18AH5ФЛ	08X22H6Т 08X18H10Т 12X18H9ТЛ	08X22H6Т 14X18H4Г4Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 05X18AH5ФЛ
Нітрит амонію 146...160 г/л, нітрат амонію до 130 г/л, вільний аміак	15	0,7	Метал, футерований фторопластом Ф-42, метал емальований		
			08X22H6Т 14X18H4Г4Л 12X18H9ТЛ 08X18H9ТЛ 12X18H9Т 05X18AH5ФЛ	08X22H6Т 08X18H10Т 12X18H9ТЛ	08X22H6Т 14X18H4Г4Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 05X18AH5ФЛ
Дисульфонат гідроксиламіну (діосоль) - 150 г/л, сірчана кислота - 5 г/л	5	0,6	Матеріал, футерований фторопластом Ф-42, метал емальований		
			08X21H6M2Т 12X18H12M3ТЛ 10X17H13M3Т	08X21H6M2Т 10X17H13M3Т	08X21H6M2Т 10X17H6M3ТЛ 10X17H13M3Т
Те саме	120	0,1	Метал, футерований фторопластом Ф-42, метал емальований		
			05X20H25M3Д2Т--Л 06XН28МДТ	06XН28МДТ	05X20H25M3Д2Т 06XН28МДТ

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °C	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Гідроксиламінсульфат: гідроксил – 150 г/л, сірчана кислота – 110 г/л, сульфат амонію – 360 г/л	30	0,1	Метал, футерований фторопластом Ф-42, метал емальований		
			08X21H6M2T 12X18H12M3TЛ 10X17H13M3T	08X21H6M2T 10X17H13M3T	08X21H6M2T 12X18H12M3TЛ 10X17H13M3T
	75	0,7...0,8	Метал, футерований фторопластом Ф-42, метал емальований		
			05X20H25M3Д2Т 06ХН28МДТ	06ХН28МДТ	05X20H25M3Д2Т 06ХН28МДТ
Аміак вільний	-15...10	0,2...0,4	Чавун КЧ30 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст5 Сталь Ст3	Сталь 35 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2	Чавун КЧ31 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2
Сірчана кислота, 65...80	30	0,6	Метал, футерований фторопластом Ф-42, метал емальований		
			05X20H25M3Д2Т--Л 06ХН28МДТ	06ХН28МДТ	05X20H25M3Д2Т--Л 06ХН28МДТ
Сірчана кислота, 92...93	30	0,8	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст5 Сталь Ст3	Сталь Ст5 Сталь 35	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5
Виробництво карбаміду					
Диоксид вуглецю – 99 %, сірководень – 30...100 мг/м ³ , кисень 0,3...0,7 %, волога до 100 %	12...50	Атмосферний	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5	Сталь Ст5 Сталь 35 20Х13 14Х17Н2	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2
	40...134	0,2...20			
Рідка фаза: аміак – 99,6 %, вода від 0,02 до 0,04 %. Газова фаза: аміак 72...80 %, диоксид вуглецю 0,05...14 % інертні гази	37...100	1,8			
Карбамід 32...38 %, аміак 33 %, вода 16...18 %, кисень 0,5...0,6 %, сірководень 30...100 мг/л	185	20	08X18H15M3T	08X18H15M3T	08X18H15M3T

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °C	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Рідка фаза: карбамід 28 ...61, аміак 8...33, карбамат амонію 6...24. Газова фаза: аміак 39... 92, вода 5...10, диоксид вуглецю до 50, азот, водень, кисень – решта	125	1,8	08X18H15M3T	08X18H15M3T	08X18H15M3T
Аміак 38...41, диоксид вуглецю 32...35, вода 24, карбамід до 16			08X17H15M3T	08X17H15M3T	08X17H15M3T
Аміак 99,3, інертні гази 0,6, кисень 0,1					
Карбамід 68,0...99,5, вода – решта					
Рідкий аміак					
Газоподібний аміак	60	20,0			
Рідкий аміак з умістом диоксиду вуглецю	100	2,5			
Газоподібний аміак, вуглеамонієві солі, розчин сечовини	40...100	1,7...1,8	08X17H15M3T	08X17H15M3T	08X17H15M3T
Розчин вуглеамонієвих солей	80...100	1,6			
Розчин сечовини, 60	—	0,6	10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9 08X22H6Т	08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9 ХН35ВТ Х32Н8 08X22H6Т	10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9 08X22H6Т
Гази дистиляції: 30 % аміаку, пара сечовини, диоксид вуглецю	120	0,05			
Оборотна вода	20	Атмосферний	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Чавун КЧ30 Сталь 20 Сталь 20Л Сталь СТ3	Сталь 35 Сталь Ст5	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 25Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5
Плав сечовини	200	20	08X17H15M3T	08X17H15M3T	08X17H15M3T
Експанзерний газ	40	0,4			

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °C	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
<i>Виробництво каустичної соди</i>					
Розсіл кухонної солі, 305...315 г/л	90	0,25... ...0,4	Титан і його сплави: BT1-0 OT-4 BT 1Л ТЛВ 1 ТЛВ 2 BT5Л ТЛЗ	Титан і його сплави: BT1-0 OT-4	Титан і його сплави: BT1-0 BT 4
Розсіл, підкислений HCl від 20 до 80 г/л	80	0,2			
Аноліт, що містить 260 ...270 г/л кухонної солі, 150 мг/л вільної соляної кислоти та 0,5 % вільного хлору	80	0,5			
Луги електролітичні, 610...680 г/л	145	0,3	12X18H9TЛ 12X18H9T 08X18H10T	08X22H6T 12X18H9T 08X18H10T	12X18H9TЛ 12X18H9T 08X18H10T
Сірчана кислота, 76...98	до 20	0,25... ...0,3	Чавун, футерований фторопластом Ф-42		
			06XH28МДТ 05X20H25МЗД2ТЛ	6XH28МДТ	06XH28МДТ 05X20H25МЗД2ТЛ
Соляна кислота, 31	18	0,3... ...0,35	Чавун, футерований поліетеленом		
			000H70M27Ф H70MФ	000HM27Ф H70Ф	000H70M27Ф H70MФ
Гріюча пара	180	0,6	Сталь 20 Сталь 25Л Сталь Ст3 Сталь 20	Сталь Ст5 Сталь 35 20X13 14X17H2	Сталь 20 Сталь 25Л Сталь Ст3 Сталь Ст5
Розчин каустичної соди, 20	100	0,6	12X18H9TЛ 12X18H9T 08X18H10T	08X22H6T 12X18H9T 08X18H10T	12X18H9TЛ 12X18H9T 08X18H10T
Каустична сода, не менше від 42	80...90	0,5...1,0			
Каустична сода NaOH, 650 г/л	60...80	0,5...1,0			
Сокова пара, до 100 мг/л кухонної солі	До 100	0,45	12X18H12M3ТЛ 10X17H13M3Т	10X17H13M3Т	12X18H12M3ТЛ 10X17H13M3Т
	До 140		Титан і його сплави		
Пульпа розчину кухонної солі (уміст твердої фази до 50 %)	90	4	BT1-0, OT - 4 BT1Л, ТЛВ1 ТЛВ2, BT5Л ТЛЗ, ТЛ5	BT1-0 OT-4	BT1-0 OT-4
Вапнякове молоко (концентрація від 250 до 300 г/л) з домішками неактивної частини вапняку	30...40	0,5	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Чавун ВЧ42 Чавун КЧ30	Сталь Ст5 Сталь 35	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Чавун ВЧ42 Чавун КЧ30 Сталь 20, Сталь 25Л, Сталь Ст3 Сталь Ст5

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °С	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Розчин каустичної соди, 40	50	Атмосферний	12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	08Х22Н6Т 12Х18НТ	12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т
Кухонна сіль	120	0,4	Титан і його сплави:		
Розчин кухонної солі (40 %) з наявністю твердої фази до 15 %			ВТ1-0, ОТ-4 ВТ1Л, ТЛВ1 ТЛВ2, ВТ5Л ТЛ3, ТЛ5	ВТ1-0 ОТ-4	ВТ1-0 ОТ-4
Розчин їдкого натрію 26...30 % і хлористого натрію 7,2...50 %			08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9 08Х18Н10Т
Виробництво латексу дивінілстирольного (суспензія каучуку у воді)					
Стирол, домішки гідрохінону, 5...10 %-й їдкий натр	5...25	0,6	Сталь 20Л Сталь 25Л Сталь Ст3 Сталь Ст5	Стаоль 35 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2	Сталь 20Л Сталь 25Л Сталь Ст3 Сталь Ст5 20Х13
Чистий стирол, вода 0,5...1,5 %, їдкий натр	60	0,5	Метал, футерований поліетеленом		
Пом'якшена вода після відмивання на скид: вуглеводнів не більше 100 мг/л			Чавун СЧ18 Чавун СЧ21	Сталь 35 20Х13	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21
Дивініл, перекисні сполуки – 0,001 %, волога – 0,01, кисень – 0,5 %			Метал, футерований фторопластом Ф-42		
30 %-й стирол, 70 %-й дивініл	5...25	0,5...0,6	14Х17Н2 08Х22Н6Т 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т	14Х17Н2 08Х22Н6Т 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т	14Х17Н2 08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т
Розчин омату калію-15 %, рН 10,5...11,7	Понад 20		Метал, футерований поліетеленом		
20 %-й розчин хлористого калію	75		Від 0,5	Метал, футерований поліетеленом	
0,1...1,5 %-й розчин рангаліту, формальдегідсульфоксидолату	50	До 0,6	14Х17Н2 08Х22Н6Т 12Х18Н9ТЛ 14Х18Н4ГЛ 08Х18Н4Г4Л 08Х18Н10Т	14Х17Н2 08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	14Х17Н2 08Х22Н6Т 12Х18Н9ТЛ 14Х18Н4Г4Л 08Х18Н10Т
0,1...1,5 %-й розчин диметилдитіокарбонату натрію	60				
0,1...1 %-й розчин емульсії на алеаті калію	50				

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °С	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
2 %-й розчин лейканолу, 0,1...2 %-й розчин трилону «Б», рН 4...4,5	60	До 0,6	14X17H2 08X22H6T 12X18H9TЛ 14X18H4ГЛ 08X18H4Г4Л 08X18H10T	14X17H2 08X22H6T 12X18H9T 08X18H10T	14X17H2 08X22H6T 12X18H9TЛ 14X18H4Г4Л 08X18H10T
0,1...2 %-й розчин персульфату калію, рН 9...10,5					
Водна фаза, масових часток: СКС-30, олеат калію – 2,5...3,5, хлористий калій – 0,4, вода – 101...137, рН 10,2...11					
Мономер –100 (стирол 30 %, дивініл 70 %), масових часток: калієве мило олеїнової кислоти – 3, хлористий кальцій – 0,4, леканол – 0,4, залізосірчанокисле – 0,02... 0,04, трилон додецилмеркаптану – 0,15 0,15, гіціб – 0,05... 0,2, ронгаліт – 0,06 ... 0,18, вода – 140	40...70	До 0,6	14X17H2 08X22H6т 12X18H9TЛ 14X18H4Г4Л 08X18H10T	14X17H2 08X22H6T 12X18H9T 08X18H10T	14X17H2 08X22H6T 12X18H9TЛ 14X18H10T 08X18H10T
Вода бойлерна	90...110	0,5	Метал, футерований фторопластом		
Розсіл плюс хромпик	–5	0,4	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 20, Сталь 25Л Сталь Ст5 Сталь Ст3	Сталь Ст5 Сталь 35 20X13	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 20, Сталь 25Л, Сталь Ст5 Сталь Ст3
10 %-ва суспензія кремнефтористого натрію	20...30	0,2	Метал, футерований поліетеленом		
Латекс, вода, стирол 0,001 %	118	0,008	08X22H6T 12X18H9TЛ 08X18H10T 12X18H9T	08X22H6T 12X18H9T 08X18H10T	08X22H6T 12X18H9TЛ 08X18H10T 12X18H9T
Латекс (суспензія дивінілстирольного каучу – ку у воді), рН 8,5...9,5; 8 %-ва суспензія кремнефтористого натрію	30	40			
Виробництво оцтово кислоти					
Вуглецевокислий марганець, водний розчин оцтової кислоти	95...96	0,1	12X18H12M3TЛ 10X17H13M3T	10X17H13M3T	12X18H12M3TЛ 10X17H13M3T
Оцтовокислий марга – нець 3...5 %, оцтова кислота 70...80 %	20...30				

Продовження табл. 14.2

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °C	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Ацетатальдегід-ректифікат, ацетатальдегід 99 %, протоновий альдегід, решта – вода	20...30	0,06... ...0,08	Сталь 20, Сталь 25Л Сталь Ст3 Сталь Ст5	20X13,14X17H2 Сталь 35, Сталь Ст5	Сталь 20, Сталь 25Л Сталь Ст3 Сталь Ст5 20X13, 14X17H2
Ацетатальдегід з ката-лізатором	75	0,4...0,5	08X12H6M2T 12X18H12M3TЛ 10X17H13M3T	08X21H6M2TТ 10X17H13M3T	08X21H6M2T 12X18H12M3T 10X17H13M3T
Парогазова суміш оцтової кислоти з CO ₂	45	0,1			
Оцтова кислота – сирець, 96 %	30	0,1			
Легкокипляча фракція	95...125	0,1			
Легкокипляча фракція (метилацетат, ацетальдегід, вода, мурашина та оцтова кислоти)	50	0,1	08X21H6M2T 12X18H12M3TЛ 10X17H13M3T	08X21H6M2T 10X17H13M3T	08X21H6M2T 12X18H12M3TЛ
Пари легкокиплячих продуктів з домішками оцтової кислоти	100...125	0,1			
Оцтова кислота, що містить солі марганцю, мурашину кислоту та інші домішки	130	0,1			
Пара оцтової кислоти	100	0,1	08X21H6M2T 12X18H12M3TЛ 10X17H13M3T	08X21H6M2T 10X17H13M3T	08X21H2M2T 12X18H12M3TЛ 10X17H13M3T
Охолоджена технічна оцтова кислота, 97...98	20	0,1			
Оцтова кислота	115	0,3			
Оцтовий ангідрид	50	0,2			
Слабка оцтова кислота	40	0,1			
Ацетальдегід	22	0,3	08X22H6T 12X18H9TЛ 08X18H10T 12X18H9T	08X22H6T 12X18H9T 08X18H9T	08X22H6T 12X18H9TЛ 08X18H10T 12X18H9T
<i>Виробництво полівінілхлориду</i>					
Дихлорметан, ацетилен – 8,5, етилен – 9,5, кисень менше від 1, азот – 2,7., водень – 15, CO – 25, CO ₂ – 27, HCl – 8,5 (масових часток)	30...180	0,6	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3	Сталь35 Сталь Ст5 20X13 14X17H2	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5 20X13 14X17H2
Вінілхлорид, ацетил, етилен, кисень, азот, водень, CO ₂ , CO, вода, HCl, 30 %-ва соляна кислота	5...40	0,5...0,6	Метал, футерований поліетиленом, метал гумований, метал емальований		
8...9 %-й розчин сулеми	30	0,6	000H70M27Ф H70M27Ф	000H70M27Ф 000H70M27Ф	000H70M27Ф H70M27Ф

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Темпера- тура, °С	Тиск робо- чий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Вінілхлорид	40	0,5	08Х22Н6Т 12Х18Н9ТЛ 14Х18Н4Г4Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 14Х18Н9ТЛ 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т
Дихлоретан, ацетил, етилен,кисень, азот, во- день, СО ₂ , СО, вода, хлор (сліди)	30...70	0,3	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст5 Сталь Ст3	Сталь 35 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст5 !4Х17Н2
0,6 %-ве хлорне залізо, в безводному діхлоретані, діхлоретан, ацетил, ки- сень, окис вуглецю, дио- ксид вуглецю	30...70	0,5			
Ацетил, етилен, азот, водень, окис вуглецю, диоксид вуглецю, 0,3 %-ва соляна кислота, хлор (сліди), вода, гід- роокис натрію	30...40	0,3	Метал, футерований поліетеленом, фторопластом, метал емальований		
Ацетил, етилен, азот, во- день, окис вуглецю, диок- сид вуглецю, гідроксид натрію, при рН 10...12, 3 %-ва соляна кислота	45...50		000Н70М27Ф Н70МФ	000Н70М27Ф Н70МФ	000Н70М27Ф Н70МФ
Активоване вугілля	20	0,1	Метал гумований		
Хлорметил, НСІ, азот, водень, СО, волога (слі- ди)	45...50	0,3	Метал, футерований поліетеленом		
Вінілхлорид, важкі до- мішки: ацетальде- гід,бутадієн, крекінг-газ, пропан-бутан, бутан, ароматика, хлориста сурма, каталізатор (ак- тивоване вугілля		0,5	08Х22Н6Т 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т
Суспензія каучуку марки С-70:вінілхлорид, вода, гідроксид натрію (сухий порошок), полівініловий спирт 1,3... 1,34 %, діак- тил фтолат С ₆ Н ₄ (СООС ₈ Н ₁₂) ₂ , КSC- каталізатор (фосген, пе- рекис натрію, перекис водню, луги) бітаксіети- лпероксидікарбонат) у розчині нормального ге- ксану (С ₄ Н ₉ ОС ₄ ОСОН) ₂ , іонол (С ₈ СН ₃) ₇ ОН	52	0,45... ...0,76	14Х17Н2 08Х22Н6Т 14Х18Н4Г4Л 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	14Х17Н2 08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	14Х17Н2 08Х22Н6Т 14Х18Г4Л 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т

Продовження табл. 14.2

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Темпера- тура, °С	Тиск робо- чий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Полівінілхлорид, су-спензія каучуку марки С70, пара	65	0,7	Метал, футерований фторопластом Ф-42. Метал гумований		
Суспензія харчового ка-учуку марки С-70: вініл-хлорид, вода, перикис лаурилу, діоктилфтолат, стеорат кальцію	58,5	0,86			
Виробництво поліефіракрилатів і сополімерів					
97 %-ва метакрилова кислота	120	0,3	08Х22Н6Т 14Х18Н4Г4Л	08Х22Н6Т	08Х22Н6Т
Толуол високої чистоти	30...120	0,1	12Х18Н9ТЛ	12Х18Н9Т	14Х18Н4Г4Л
Вінілацетат високої чи-стоти	20...35		12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	08Х18Н10Т	12Х18Н9ТЛ 08Х18Н9Т
60...98 %-ва сірчана кислота	50...80	0,3	06ХН28МДТ 05Х20Н25М3Д2ТЛ	06ХН28МДТ	06ХН28МДТ 05ХН25М3Д2Т
Ацетонгідрин високої чистоти	20...30	0,1	08Х22Н6Т 14Х18Н4Г4Л 12Х18Н9ТЛ 10Х18Н9Л 12Х18Н9Т 12Х18Н9	08Х18Н9Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9	08Х22Н6Т 14Х18Н4Г4Л 12Х18Н9ТЛ 10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9
Чотирехлористий вуг-лець високої чистоти					
Бензолсульфонова кис-лота 1 %-ва	100	0,8			
Поліефір-сирець ТГМ-3, бензосульфоки-слота, толуол, малеїно-вий голубий гідрокінон	120	0,3	06ХН28МДТ 05Х20Н25М3Д2ТЛ	06ХН28МДТ	08ХН28МДТ 05Х20Н25М3Д2Т--Л
Поліефір-сирець МГФ-9, нерозведена сірчана кислота, толу-ол, фталевий ангідрид, гідрокінон	120				
Поліефір-сирець, вуг-лекислий кальцій (роз-чин 3...5 %)	30...50				
Знесолена вода	120	1,0	Чавун гумований, чавун емальований		
Толуол, сліди поліефі-ру (сирця)	70	3	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст Сталь Ст3 Сталь СТ35	Сталь 35 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст5 Сталь СТ3 20Х13, 14Х17Н2
Поліефіракрилат, 90 %-ва оцтова кисло-та, 20 %-й їдкий натр, знесолена вода	30		08Х22Н6Т 14Х18Н4Г4Л 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 08Х18Н9Т 08Х18Н10Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	08Х22Н6Т 14Х18Н4Г4Л 12Х18Н4Г4Л 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °С	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Промислові стоки, вуглецевокислий натрій, метакрилова кислота, толуол	30...50	0,3	Чавун, футерований поліетеленом		
			12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т
Чавун, футерований поліетеленом					
06ХН28МДТ 05Х20Н25М3ДТ	06Х28МДТ		06ХН28МДТ 05Х20Н25М3Д2ТЛ		
Кислий толуол (підкислений сірчаною кислотою до 3 %)	30		Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст3 Сталь Ст5	Сталь 35 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3 20Х13, 14Х17Н2
Триетиленгліколь	120		Те саме	Те саме	Те саме
Содовий розчин (вуглеце-вокислий натрій 3...5 %)	70	0,3	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Чавун ВЧ42 Чавун КЧ30 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст5 Сталь СТ3	Сталь 35 Сталь Ст5	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Чавун ВЧ42 ЧавунКЧ30 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст5 Сталь Ст3
Охолодний розсіл (насичений хлористий кальцій)	-10		08Х22Н6Т 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т
Вінілацетат, хлорвініл, перекис бензоїлу	70		1,0	08Х22Н6Т 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9ТЛ 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т
Захолоджена вода, пара, сульфолієлова кислота	160	Атмосферний			
Суспензія полімерів	100				
Виробництво сірчаної кислоти (контактний спосіб)					
Випалювальний газ, що містить 10...15 % сірчистого ангідриду, 0,1...0,5 % сірчаного ангідриду, до 5 % кисню, до 85 % азоту, 0,03 ...0,04 кг/м ³ води і до 300 г/м ³ недогаркового пилу	450...485	До 0,1	10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9	08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9 ХН35ВТ	10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9
Промислова рідина: сірчана кислота 5...60 %-ва, механічні домішки (залізо, селен, арсен), фтористий водень	До 85	До 06	Метал, футерований фторопластом Ф-42		
			05Х20Н25М3Д2ТЛ 06ХН28МДТ	06ХН28МДТ	05Х20Н25М3Д2ТЛ 06ХН28МДТ

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °С	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Сірчана кислота, 50...80	70...120	До 0,2	00070М27Ф Н70 МФ	000Н70М27Ф	000Н70М27Ф Н70М27Ф
Сірчистий газ, що містить сірчистого ангідриду не більше 7,5 %, вологи до 0,01 %, туман сірчаної кислоти	До 60	До 0,2	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст5 Сталь Ст3	Сталь Ст5 Сталь 35 20Х13 14Х17Н2	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст5 Сталь Ст3 20Х13, 14Х17Н2
Сушильна сірчана кислота, 92...93,5	До 30	До 0,6	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст5 Сталь Ст3	Сталь Ст5 Сталь 35 20Х13 14Х17Н2	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст5
			Метал, футерований фторопластом Ф-42, метал емальований		
			08Х21Н6М2Т 12Х18Н12М3ТЛ 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 12Х18Н12М3ТЛ 10Х17Н13М3Т
Моногідрат – сірчана кислота, 97...99	До 70	До 0,7	Метал, футерований фторопластом Ф-42, метал емальований		
Олеум, що містить 25 % вільного сірчаного ангідриду			08Х22Н6Т 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т	08Х22Н6Т 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т
Виробництво синтетичних жирних кислот					
Окиснений парафін, що містить 30 % водонерозчинних кислот (від С ₅ і вище) та 3...5 % водорозчинних (С ₁ ...С ₄), необмилюваних жирів – 67 %, решта – вода	110...130	1,1...2,5	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т	08Х22222Н6Т 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т
Окиснений парафін і шлам	100...110	0,01... ...0,5			
Водний конденсат, що містить 25 % кислот С ₁ ...С ₄	60...90	...0,1 ...0,5	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т
Масляний конденсат, що містить кислоти С ₅ і вище	60...80	0,1... ...0,5			

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °C	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Пара води та низькомолекулярних кислот C ₁ ...C ₄	60...140	До 0,07	10X17H13M3T 12X18H12M3TЛ	10X17H14M3T	10X17H13M3T 12X18H12M3TЛ
Обмилений оксид, лужне середовище	90...100	0,26... ...1,1	Сталь 20 Сталь 25Л Сталь Ст3 Сталь Ст5	Сталь 35 Сталь Ст5 20X13 14X17H2	Сталь 20 Сталь 25Л Сталь Ст3 Сталь Ст5 20X13 14X17H2
Натрієві мила жирних ки- слот, вода, парафіни (лужне середовище)	90...180	2,5...3,0			
Розчин натрієвих мил, необмилювані речовини	300...350	0,3...3,0			
Мильний клей (мила жи- рних кислот в розчині Na ₂ SO ₄ і H ₂ SO ₄ від 0,2 до 2 %)	80...90	0,4...0,5	06ХН28МДТ 05Х20Н25М3Д2Т--Л	06ХН28МДТ 05Х20Н25М3Д-2ТЛ	06ХН28МДТ 05Х20Н25М3Д2Т-Л
Жирні кислоти C ₁ ...C ₂₀ і вище (водорозчинних 2...3 %)	60...130	0,5	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9ТЛ 08ХН10Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 08Х18Н10Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т
Фракції кислот: C ₁ ...C ₄ , C ₅ ...C ₆ , C ₇ ...C ₉ , C ₁₀ ...C ₁₃ , C ₁₄ ...C ₁₆ , C ₁₇ ...C ₂₀ і вище	30...100	1,1			
Фракції кислот: C ₁ ...C ₄ , C ₅ ...C ₆ , C ₇ ...C ₉ , C ₇ ...C ₉ , C ₁₀ ...C ₁₃ , C ₁₄ ...C ₁₆ , C ₁₇ ...C ₂₀ і вище	30...300	До 0,1	08Х21Н6М2Т 10Х17Н13М3Т 12Х18Н12М3ТЛ	08Х21Н6М2Т 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 10Х17Н13М3Т 12Х18Н12М3ТЛ
<i>Виробництво спирту</i>					
Хвостовий гідролізат, що містить сірчану кислоту до 0,6 %, оцтову, мурашину та інші органічні кислоти до 0,1 %	100	До 0,3	05Х20Н25М3Д2Т--Л 06ХН28МДТ	06ХН28МДТ	05ХН25М3Д2ТЛ 06ХН218МДТ
Сірчана кислота концентрацією від 97 до 98 %	До 20	0,1	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Чавун ВЧ42 Чавун КЧ30 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст5 Сталь Ст3	Сталь 35 Сталь Ст5	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Чавун ВЧ42 Чавун КЧ30 Сталь 25Л Сталь 20Л, Сталь 20 Сталь Ст5
	50		08Х21Н6М2Т 12Х18Н12М3ТЛ 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 12Х18Н12М3ТЛ

Продовження табл. 14.2

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °С	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Пара	190...200	До 1,3	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст5 Сталь Ст3	Сталь 35 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст5 Сталь Ст3 20Х13, 14Х17Н2
Вода	190	2,0...2,5	05Х20Н25М3Д2Т 06ХН28МДТ	06ХН28МДТ	05Х20Н25М3Д2Т 06ХН28МДТ
Гідролізат, що містить сірчану кислоту до 0,6 %, оцтову, мурашину та інші органічні кислоти до 1 %. Загальна кислотність рН 1,4...1,5	150...185	0,7...1,2	Титан і його сплави		
Пара самовипарювання, що містить органічні кислоти до 0,2 % і фурфурол 0,2...0,3 %	150	0,25... ...0,45	ВТ1-0 ОТ-4 ВТ1Л ТЛВ1, ТЛВ2 ВТ5Л, ТЛ3 ТЛ5	ВТ1-0 ОТ-4	ВТ1-0 ОТ-4
Пара здувкання, що містить оцтову, мурашину та сірчану кислоти в крапельно-рідкому стані	185...190	Від 1,2			
Вапнякове молоко, що містить 135 г/л оксиду кальцію та 0,25 кг/м ³	До 80	0,3...0,4	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Чавун ВЧ42 Чавун КЧ30 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст5	Сталь 35 Сталь Ст5	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Чавун ВЧ42 Чавун КЧ30 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20
Їдкий натрій, 3...5	90	0,3...0,4	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Чавун ВЧ42 Чавун КЧ30 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3	Сталь 35 Сталь Ст5	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Чавун ВЧ42 Чавун КЧ30 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3
Нейтралізат (віднейтралізований гідролізат) рН 3,9...4,85	86...90	0,1	08Х21Н6М2Т 12Х18Н12М3ТЛ 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 12Х18Н12М3ТЛ 10Х17Н13М3Т
Дріжджове сусло, рН 3,9...4,35	30...34	0,1	08Х21Н6М2Т 12Х18Н12М3ТЛ 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 10Х17Н13М3Т	08Х21Н6М2Т 12Х18Н12М3ТЛ
Хлорне вапно 3...5 % (для промивання устаткування)	20	Атмосферний	Титан і його сплави		
			ВТ1-0, ОТ-4, ВТ1Л, ТЛВ1, ТЛВ2, ВТ5Л, ТЛ3, ТЛ5	ВТ1-0 ОТ-4	ВТ1-0 ОТ-4

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °C	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Бражка, вода	190	2,0...2,5	08X22H6T		08X22H6T
Бражка, що містить спирт, ефіри, альдегіди, метанол, сивушні масла	100	До 0,035	14X18H14Г4Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т	08X22H6T 08X18H10Т 12X18H9Т	08X22H6T 14X18H4Г4Л 12X19H9ТЛ 12X18H9Т
Барда, що містить ментозні цукри C ₅ H ₁₀ O ₅ , фурфуролу не більше 0,03 %, завмслих частинок не більше 1 г/л (рН 3,5...4,3)	30...90	0,3	08X22H6T 14X18H4Г4Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т	08X22H6T 08X18H10Т 12X18H9Т	08X22H6T 14X18H4Г4Л 12X18H9ТЛ 12X18H9Т
Аміачна вода, що містить аміаку не менше від 25 %	До 30	0,3...0,4	Чавун КЧ30 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20	Сталь 35 Сталь Ст5 20X13	Чавун КЧ30 Сталь 25Л, Сталь 20Л, Сталь 20
Дріжджова суспензія концентрацією до 600 г/л	30...40	0,2	Сталь 20 Сталь Ст5 Сталь Ст3	20X13 14X17H2	Сталь Ст3 Сталь Ст5 20X13, 14X17H2
Розчин солей: сульфат амонію 2,2 %, фосфорний ангідрид 1,1 %, хлористий калій до 2 %	До 100	0,3...0,4	08X21H6M2T 12X18H12M3ТЛ 10X17H13M3T	08X21H6M2T 10X17H13M3T	08X21H6M2T 12X18H12M3ТЛ 10X17H13M3T
Сульфат амонію	60	0,4	Чавун СЧ18		Чавун СЧ21
Вуглецевокислий газ 99,6 %, органічні домішки	20	0,1	Чавун СЧ21	Сталь 35 Сталь Ст5	Чавун ВЧ42
Вуглецевокислий газ, вода, органічні домішки	13		Чавун ВЧ42		Чавун КЧ30
Вуглецевий газ	До 80		Чавун КЧ30 Сталь 25Л Сталь 20Л		Сталь 25Л Сталь 20 Сталь Ст5
Слабокисла рідина, фурфурол 10...12 %, органічні домішки	98	До 0,1	08X21H6M2T 12X18H12M3ТЛ 10X17H13M3T	08X21H6M2T 10X17H13M3T	08X21H6M2T 12X18H12M3ТЛ 10X17H13M3T
<i>Виробництво толуїлендіізоціанату</i>					
Фосген технічний	0...40	0,3...0,7	Сталь 25Л Сталь 20Л	Сталь Ст5 Сталь 35	Сталь 25Л Сталь 20
Хлорбензол технічний	20...40	0,5	Сталь Ст3 Сталь Ст5	20X13 14X17H2	Сталь Ст3 20X13, 14X17H2
Фосген зворотний з домішками хлорбензолу та хлористого водню	-10...50	0,05... ...6,0	08X22H6T 10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9	08X22H6T 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9 ХН35ВТ Х32Н8	08X22H6T 10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9
Хлорбензол зворотний з домішками фосгену, толуїлендіізоціанату	65	0,008... ...0,35			
Хлорбензол захопджений з домішками хлористого водню	-10...-25	0,3			

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °C	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Хлорбензол газоподібний	203	0,35	12X18H12M3TЛ 10X17H13M3T	10X17H13M3T	12X18H12M3TЛ 10X17H13M3T
Толуїлендіамін (ТДІ)	100...115	0,3...6,0	10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9	08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9 ХН35ВТ Х32Н8	10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9
Розчин толілендіаміну в хлорбензолі	100...160				
Сирець толуїлендіізоціанату, який містить: ТДІ – 6,4... 10 %, фосгену – 17,2... 36 %, хлористого водню 0,01 %, хлорбензолу 76,9... 87,3 %, смоли 1,8...3,43 %	160...120	1,5...6,0	12X18H12M3TЛ 10X17H13M3T	10X17H13M3T	12X18H12M3TЛ 10X17H12M3T
Сирець толуїлендіізоціанату, що містить ТДІ 78...100 %, хлорбензолу до 9,5 %, смоли до 12,5 %	170	До 0,008			
Толуїлендіізоціанату, 100 %	40	0,4	08X22H6Т 10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9	08X22H6Т 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H8 ХН35ВТ Х32Н8	08X22H6Т 10X18H9Л 12X18H9Т 08X18H10Т 12X18HТ 12X1H9
Кубовий залишок з умістом ТДІ до 50 %, смоли до 50 %					
Кубовий залишок, що містить ТДІ 45,3...80 %, смоли 20...45,1 %, хлорбензолу до 9,6 %	130...180	До 0,007	08X21H6M2Т 12X18H12M3TЛ 10X17H13M3T	08X21H6M2Т 10X17H13M3T	08X21H6M2Т 12X18H12M3TЛ 10X17H13M3T
Парогазова суміш фосгену та хлористого водню	-20...0	1,5	10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9	08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9 ХН35ВТ Х32Н8	10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9
Парогазова суміш хлорбензолу (99 %) і фосгену	132	0,005			
Парогазова суміш фосгену, хлорбензолу та хлористого водню	40...160	1,5			
Абгаз, що містить хлористий водень, фосген, хлорбензол, азот, вуглецевокислий газ, на утилізацію	-20...140	0,01	08X22H6Т 10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9	08X22H6Т 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9 ХН35ВТ Х32Н8	08X22H6Т 10X18H9Л 12X18H9ТЛ 08X18H10Т 12X18H9Т 12X18H9
Соляна кислота, 20...30	30...40	0,1	000H70M27Ф H70MФ	000H70M27Ф H70MФ	000H70M27Ф H70MФ

Продовження табл. 14.2

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °C	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Їдкий натрій, до 20	20...40	0,1...0,4	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст5 Сталь Ст3	Сталь Ст5 Сталь 35	Чавун СЧ18 Чавун СЧ21 Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь Ст5 Сталь Ст3
Сольовий розчин, що містить каустичну соду до 1,5 %, хлористий натрій до 9,5 %, вуглецевокислий натрій до 1,5 %, воду до 87,5 %, сліди іонохлорату натрію	20...45	0,1...0,4	Титан і його сплави:		
			BT1-0,OT-4, BT1Л, ТЛВ2, BT5Л, ТЛЗ, ТЛ5	BT1-0 OT-4	BT1-0, OT-4
Аміак рідкий та газоподібний	-30...40	0,1...1,6	Чавун КЧ30 Сталь 25Л Сталь Ст5 Сталь Ст3	Сталь 35 Сталь Ст5 20Х13 14Х17Н2	Чавун КЧ30 Сталь 25Л Сталь 20 Сталь Ст3
<i>Виробництво фосфорної кислоти у сірчаноокислий спосіб</i>					
Сірчана кислота, 75...92	30	0,1	Метал, футерований фторопластом Ф-42		
Сірчана кислота, 56...80	50...80	0,2	05Х20Н25М3Д2ТЛ 06ХН28МДТ	06ХН28МДТ	05Х20Н25М3Д2ТЛ
Тверда фаза – апатитовий концентрат (P_2O_5 -39,4 %). Рідка фаза – сірчана кислота концентр. 56 %, фосфорна кислота (22...24 % P_2O_5), кремнефториста кислота концентрацією до 0,2 %	60...70		Метал, футерований фторопластом Ф-42, метал, футерований пентапластом, метал, футерований вініпластом, метал емальований, метал гумований		
Тверда фаза – апатитовий концентрат (P_2O_5 – 39,4 %). Рідка фаза – сірчана кислота, до 70	До 80		05Х20Н25М3Д2ТЛ 06ХН28МДТ	06ХН28МДТ	05Х20Н25М3Д2ТЛ 06ХН28МДТ
Пульпа екстракційної фосфорної кислоти	До 80	0,2...0,3	Метал, футерований фторопластом Ф-42		
Екстракційна фосфорна кислота	40	0,1	05Х20Н25М3Д2ТЛ 06ХН28МДТ	06ХН28МДТ	05Х20Н25М3Д2ТЛ 06ХН28МДТ
<i>Паперовоцелюлозне виробництво</i>					
Пічні гази, що вміщують 10...11 % сірчистого ангідриду	35	Атмосферний	Сталь 25Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5	Сталь Ст5 Сталь 35 20Х13 14Х17Н2	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 20Х1314Х17Н2

Продовження табл. 14.2

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Температура, °С	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Сульфідна кислота, що містить 3,1...3,5 % сірчаного ангідриду	35	Атмосферний	08Х22Н6Т 10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9 ХН35ВТ Х32Н8	08Х22Н6Т 10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н9Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9
Щепа, варильна кислота, диоксид вуглецю	105...110	0,5...0,7			
Освітлювач шламу (луги, вапно, вода)	100	0,15	Метал, футерований поліетеленом		
98 %-а сірчана кислота	20	0,6	Сталь 25Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5	Сталь Ст5 Сталь 35 20Х13 14Х17Н2	Сталь 25Л Сталь 20Л Сталь 20 Сталь Ст3 Сталь Ст5 20Х13,14Х17Н2
Целюлоза	60	0,5	08Х22Н6Т 10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т	08Х22Н6Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9 ХН35ВТ Х32Н8	08Х22Н6Т 10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9 08Х21Н6М2Т 10Х17Н13М3Т 12Х18Н12М3ТЛ
Дріжджово-спиртова бражка	300	1,6			
Шлам білого та зеленого щолоку	—	Атмосферний			
Лак, каніфоль	250		08Х21Н6М2Т 10Х17Н13М3Т 12Х18Н12М3ТЛ	08Х21Н6М2Т 10Х17Н13М3Т	
Сульфідна целюлоза, кислий сульфатний щолок, що містить 1...5 % лігніну, 2...6 % геміцелюлози	130...147	0,6...0,7	Титан і його сплави		
			ВТ1-0, ОТ-4, ТЛВ1, ВТ1Л, ТЛВ2, ВТ5Л, ТЛ3, ТЛ5	ВТ1-0 ОТ-4	ВТ1-0 ОТ-4
Сульфатна целюлоза та розчин слабого щолоку	20	0,6...0,7	08Х22Н6Т 10Х18Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9	0-8Х22Н6Т 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9 ХН35ВТ Х32Н8	08Х22Н6Т 10Х187Н9Л 12Х18Н9ТЛ 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н9
Гарячий щолок, рН8	95	0,4	08Х21Н6М2Т 10Х17Н13М3Т 12Х18Н12М3ТЛ	—	—
Сульфатний щолок	140	0,6	Титан і його сплави:		
			ВТ1-0, ОТ-4, ТЛ5, ВТ1Л, ТЛВ1, ТЛВ2, ВТЛ5, ТЛ3	ВТ-0 ОТ-4	ВТ1-0 ОТ-4

Умови експлуатації			Матеріал		
Середовище, концентрація компонентів, %	Темпера- тура, °C	Тиск робочий, МПа	корпуса, кришки	вала, штока, плунжера, шпинделя	елементів затворів, клапана, золотника
Бісульфід кальцію, діоксид сірки 8...12 %	30	0,1	08X22H6T 10X18H9Л 12X18H9ТЛ	08X22H6T 08X18H10T 12X18H9T	08X22H6T 10X18H9Л 12X18H9ТЛ
Щолок білий рН 12, щолок чорний рН 8	80...100	0,2	08X18H10T 12X18H9T 12X18H9	12X18H9 ХН35ВТ Х32Н8	08X18H10T 12X18H9T 12X18H9
Гідролізат, 0,51 %-ва сірчана кислота, вугле- води 3 %, фурфурол 0,08 %, гіпс, шлам 20 %, дріжджева су- спензія	200	1,6	Титан і його сплави		
Рідка фаза: хлорат на- трію 5...400 г/л, хлори- стий натрій 70...80 г/л, соляна кислота 350 г/л	50	0,5	ВТ1-0 ОТ-4 ВТ1Л ТЛВ1 ТЛВ2 ВТ5Л ТЛ3 ТЛ5	ВТ1-0 ОТ-4	ВТ1-0 ОТ-4
Водний розчин: диок- сид хлору 10...15 г/л, сірчаний ангідрид	20				
Хлорид натрію, хлор	45...90	0,6			

Запитання для самоконтролю

1. Обґрунтуйте поняття «корозія».
2. Назвіть основні види корозій.
3. Що таке проникність корозії? Охарактеризуйте механізми дії хімічної та електрохімічної корозії.
4. Охарактеризуйте поняття «стандартний електродний потенціал металу».
5. Які сталі і сплави належать до корозійностійких, жаростійких, жароміцних?
6. Назвіть класи сталей залежно від їх структури.
7. Що означає літера К у марці сталі 17К?
8. Що означає літера Л у марці сталі 35Л?
9. Що означає цифри 12 у марці сталі 12Х18Н10?
10. Що означає літера Т у марці сталі 08Х18Н10Т?
11. Охарактеризуйте вплив хрому на властивості сталі.
12. Охарактеризуйте вплив нікелю на властивості сталі.
13. Охарактеризуйте вплив молібдену на властивості сталі.
14. Охарактеризуйте вплив міді на властивості сталі.
15. Охарактеризуйте вплив титану на властивості сталі.
16. Охарактеризуйте вплив ніобію на властивості сталі.
17. Охарактеризуйте вплив марганцю на властивості сталі.
18. Охарактеризуйте види корозії сталей і сплавів: загальної, точкової, контактної, щілинної, міжкристалітної, ножової та ін.
19. Охарактеризуйте основні методи контролю сталей на схильність до міжкристалітної корозії.
20. Обґрунтуйте основні заходи щодо підвищення корозійної стійкості сталей оздоблювальним обробленням поверхні заготовок і деталей.
21. Охарактеризуйте основні заходи щодо зберігання неіржавких сталей і сплавів.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1. Корозійна стійкість безмарганцевих неіржавких сталей у різних агресивних середовищах за десятибальною шкалою

Корозійне середовище (назва, хімічна формула)	Температура, °С	08X13, 12X13	12X17, 08X17T, 14X17H2	15X25T, 15X28	12X21H5T, 08X22H5T	08X21H6M2T	12X18H10T, 08X18H10T	1X17H13M2T 10X17H13M3T	06XH28MДТ, 03XH28MДТ	Ст3, 09Г2С, 15ХСНД, 1116Г2АФ	Літературне джерело
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Адипінова кислота, (CH ₂ CH ₂ CO ₂) ₂ : 20 %-ва	40	–	–	–	–	–	4	4	–	–	[9]
Те саме, будь-якої концентрації	100	–	–	–	–	8	5	5	–	–	[10]
Адський камінь	190	10	–	–	–	8	5	5	5	10	[11]
Азотиста кислота, HNO ₂ : 5 %-ва	20	8	5	4	–	–	3	3	3	9	[12]
Те саме, концентрована	20	–	–	–	–	–	3	3	3	10	[13]
Азотна кислота, HNO ₃ , концентрацією, %: 1	20	4	3	3	3	–	3	3	–	10	[13]
	80	6	5	5	3	–	3	3	–	10	[14]
	20	5	4	3	–	–	3	3	–	–	[[13]
	60	6	6	5	–	–	3	3	–	–	
Те саме, 5	85	7	5	5	–	–	4	4	–	–	[14]
	<i>t_{кпп}</i>	8	7	5	–	–	–	–	–	–	
	20	5	4	4	–	–	3	3	–	10	[15]
	40	5	4	4	–	–	4	–	–	–	[16]
Те саме, 10	50	6	4	4	4	4	4	4	–	–	[10]
	75	6	5	5	4	5	5	5	–	–	
	85	7	5	5	4	5	5	5	–	–	[10]
	<i>t_{кпп}</i>	8	7	6	5	6	6	6	6	–	[17]
Те саме, 20	20	5	5	4	–	–	–	3	3	–	[14]
	50	5	4	4	–	–	4	–	–	–	[15]
	<i>t_{кпп}</i>	9	8	7	5	6	5	6	6	–	[14]
	20	5	5	4	3	3	3	3	–	–	[10]
Те саме, 25	90	8	7	6	5	5	5	5	–	10	[14]
	<i>t_{кпп}</i>	9	8	7	–	6	5	6	6	–	[11]
	20	5	4	4	–	–	–	–	–	–	[13]
	60	–	5	5	–	–	4	–	–	–	[10]
Те саме, 30	85	8	7	6	5	–	5	5	–	–	
	<i>t_{кпп}</i>	9	8	7	4	5	5	5	5	–	[17]
Те саме, 30, якщо <i>p</i> =550 кПа	80	–	–	–	5	–	5	–	–	–	[19]
Те саме, 30, якщо <i>p</i> =1300 кПа	140	10	–	–	7	8	7	8	–	10	[10]
Те саме, 37	20	6	5	5	–	–	–	–	–	–	[20]
	<i>t_{кпп}</i>	9	8	7	5	6	5	6	6	10	
Те саме, 40	20	6	5	5	–	–	3	–	–	–	[13]
	60	7	6	5	–	–	4	4	–	–	
	90	8	7	6	5	5	5	5	–	10	[14]
	<i>t_{кпп}</i>	9	8	7	5	6	6	6	6	10	[21]
Те саме, 50	20	6	6	5	–	–	3	3	–	10	[14]
	50	7	6	5	–	–	4	4	–	–	[15]
	80	8	7	6	4	5	5	5	–	–	[14]
	<i>t_{кпп}</i>	9	8	7	6	6	6	6	7	–	[17]
Те саме, 60	60	7	7	5	5	5	5	5	5	–	[10]
Те саме, 60, якщо <i>p</i> =550 кПа	60	–	–	–	5	–	5	–	–	–	[19]

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Те саме, 65	20	6	5	5	–	–	4	4	–	10	[20]
	50	7	7	6	5	–	5	5	5	–	[21]
	60	–	7	6	–	–	5	5	–	–	[13]
	85	9	8	7	5	5	5	5	–	–	[14]
	$t_{\text{кип}}$	10	9	8	7	–	8	8	7	–	[20]
Те саме, 70 та оксиди азоту, якщо $p=550$ кПа	20	–	–	–	5	–	5	–	–	–	[19]
Те саме, 80	30	–	–	–	–	–	4	4	–	–	[14]
	65	8	7	6	5	5	5	5	–	–	
	$t_{\text{кип}}$	10	9	8	8	8	8	8	–	–	
Те саме, 85	85	10	9	8	8	8	8	8	–	–	10
Те саме, 90	20	8	7	6	5	5	5	5	–	–	
	80	10	9	8	7	8	8	8	–	–	
	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	–	–	10	10	–	–	[14]
Те саме, 98, якщо $p=550$ кПа	40	–	–	–	5	–	5	–	–	–	[19]
Те саме, 99	20	8	7	7	–	–	7	7	–	8	[15]
	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	10	10	10	9	–	10	[10]
Те саме, концентрована, $\rho=1520$ кг/м ³	20	8	8	7	–	–	5	5	5	8	[14]
Те саме, така, що димить	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	–	–	10	10	–	10	
Те саме, 1...15, під тиском	190	–	–	–	9	10	9	10	10	–	[17]
Те саме, 20...70, під тиском	190	–	–	–	10	10	10	10	10	–	
Те саме, 6,5, червона ($\text{HNO}_3+\text{NO}_2+\text{NO}$)	20	5	5	5	5	5	5	5	5	–	[22]
Те саме, 16...20	20	5	5	5	5	5	5	5	5	–	
Те саме, 6,5	150	10	10	10	–	–	10	10	10	–	
Те саме, 16...20	150	10	10	9	–	–	9	9	9	–	
Акролеїн, $\text{CH}_2=\text{CHCHO}$	–	–	–	–	–	–	4	3	3	–	[24]
Акрилова кислота, $\text{CN}_2=\text{CHCO}_2\text{H}$ будь-якої концентрації	20	5	–	–	4	–	4	–	–	6	
	160	8	–	–	5	–	5	5	5	–	
Акрілонітрил, $\text{CH}_2=\text{CHCN}$	20	–	–	–	5	–	<5	<5	5	–	
Альдегід бензойний	21	5	5	5	7	–	–	<5	<5	<5	[11]
Альдегід мурашкової кислоти 40 %-й	20	4	3	3	10	3	3	3	3	2	
Альдегід оцтової кислоти	20	8	5	5	–	5	–	<5	<5	<5	
Алкілдіамін, $\text{C}_2\text{H}_4(\text{NH})_2$	110	–	–	–	–	–	1	–	–	–	[18]
Алкілпіридин	100	–	–	–	–	–	5	–	–	–	
	140	–	–	–	–	–	8	–	–	–	
	150	–	–	–	–	–	8	–	–	–	
	190	–	–	–	–	–	8	–	–	–	
	195	–	–	–	–	–	8	–	–	–	
	200	–	–	–	–	–	6	–	–	–	
Алкілсульфат, $\text{C}_2\text{H}_5\text{SO}_4$ (рідина)	50	–	–	–	–	–	2	–	–	–	
	60	–	–	–	–	–	–	–	–	1...2	
	70	–	–	–	–	–	1	–	–	–	
Алкілсульфат (пара)	50	–	–	–	–	–	6	–	–	–	
	70	–	–	–	–	–	1	–	–	–	
Алкілфенол, $\text{C}_2\text{H}_5\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	200	–	–	–	–	–	1	–	–	–	
Алюміній розплавлений	700	10	10	10	10	10	10	10	9	10	[11]
Алюміній азотнокислий, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$: будь-якої концентрації	20	1	1	–	–	–	1	1	1	8	[15]
Те саме, 10 %-й, 75 %-й	90	4	3	3	–	–	3	3	3	10	[11]
Те саме, насичений розчин	$t_{\text{кип}}$	6	5	5	–	–	4	4	4	10	[15]
Алюміній сірчанокислий, $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ 2 %-й, 10 %-й	20	8	7	6	4	3	3	3	–	10	[10]
	$t_{\text{кип}}$	10	–	–	5	4	8	4	–	–	

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Алюміній сірчаноокислий, $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$, насичений розчин	20	4	—	—	5	5	5	5	—	—	
	$t_{\text{кип}}$	10	10	-	-	-	8	8	5	-	
Алюміній солянокислий AlCl_3 , 50 %-й	20	10	10	-	-	-	8	8	5	-	[15]
	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	10	10	10	-	8	-	[17]
Алюміній оцтовокислий, $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$	20	3	3	3	-	-	2	2	2	-	[15]
	$t_{\text{кип}}$	5	5	5	5	5	5	5	4	-	[11]
Алюміній фтористий, AlF_3 , точкова корозія	20	-	9	9	-	-	9	8	-	-	[25]
Алюмоаміачні галуни, 45 %-й розчин	20	2	2	2	-	-	1	-	-	-	[26]
	$t_{\text{кип}}$	5	5	5	-	-	4	-	-	-	
Амілацетат, $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{C}_5\text{H}_{11}$	21	-	-	-	5	-	-	3	3	2	[27]
Аміл хлористий, $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Cl}$ (ТК)	21	5	4	4	-	-	3	3	2	-	[23]
Аміак, NH_3 , водний розчин будь-якої концентрації	20	3	2	2	-	-	3	2	2	-	[20]
	100	5	5	5	5	5	5	5	5	-	[11]
Аміак 25 %-й, насичений NaCl	100	7	6	-	5	5	5	5	-	-	[10]
Амінобензойна кислота, $\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{CO}_2\text{H}$ (суміш ізомерів)	20	5	-	4	-	4	3	3	3	-	[28]
Амоній азотноокислий, NH_4NO_3 , 10 %-й і 75 %-й	90	3	3	3	-	-	2	2	2	7	[21]
Те саме, гаряченасичений розчин	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	5	5	8	5	-	-	[11]
Те саме, розплавлений	165	-	-	-	5	5	8	5	-	-	[10]
Амоній бромистий, NH_4Br , 1...4 %-й до 43 %	50	10	6	5	5	5	5	6	-	10	[24]
	100	-	10	10	-	-	9	8	8	-	
Амоній вуглецевокислий, $(\text{NH}_2)_2\text{CO}_3$	20	5	4	4	-	-	4	3	-	6	[13]
	$t_{\text{кип}}$	10	8	8	-	-	9	8	8	-	[21]
Амоній кислий двовуглецевокислий, NH_4HCO_3	20	4	3	3	3	2	3	2	-	-	[11]
	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	-	-	5	5	-	-	[25]
Амоній кремнефтористий, $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$	20	10	9	-	-	-	5	4	-	-	[22]
Амоній надсірчаноокислий, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$	20	-	3	3	3	3	3	3	-	9	[10]
	$t_{\text{кип}}$	-	8	-	-	-	5	-	-	10	[22]
Амоній надхлорноокислий, $(\text{NH}_4)\text{ClO}_4$, 10 %-й	20	10	10	-	-	-	8	6	5	-	[15]
	$t_{\text{кип}}$	10	10	-	-	-	8	6	5	-	
Те саме, гаряченасичений розчин	$t_{\text{кип}}$	10	10	-	-	-	10	8	6	-	
Амоній роданистий, 200 г/л	$t_{\text{кип}}$	2	-	-	2	-	4	4	4	8	[29]
Амоній сірчистоокислий, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$, насичений розчин	$t_{\text{кип}}$	5	5	5	4	3	4	3	-	10	[11]
Амоній сірчистий, $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, будь-якої концентрації	20	5	-	-	-	-	5	5	-	10	[24]
Амоній сірчаноокислий, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, будь-якої концентрації	20	6	5	5	-	-	5	5	-	7	[21]
	$t_{\text{кип}}$	10	10	8	-	6	7	6	-	10	[15]
Амоній фосфорноокислий, $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$	20	7	7	6	5	4	5	4	-	-	[11]
	$t_{\text{кип}}$	10	9	9	-	-	8	7	-	-	[25]
Амоній фтористий, NH_4F , (Т.К.)	100	-	-	-	-	-	6	5	5	10	[24]
Амоній хлористий, NH_4Cl концентрацією, %: 1	20	4	3	3	-	-	3	3	-	-	[10]
Те саме, 5	90	8	7	6	5	4	5	4	-	-	
	$t_{\text{кип}}$	9	8	7	5	4	5	5	-	10	
Те саме, 10	20	6	5	5	-	-	4	3	-	-	[21]
	50	-	-	-	-	-	5	-	-	-	[13]
	90	8	7	6	5	4	5	4	-	-	[10]
	$t_{\text{кип}}$	10	8	7	5	5	8	6	-	10	[21]

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Те саме, 25 %-й, насичений, якщо 20 °С	90	9	8	-	-	5	8	5	-	-	[10]
	$t_{\text{кип}}$	10	9	-	8	5	8	6	5	-	[17]
Те саме, 30 %-й, насичений, якщо 50 °С	50	-	-	-	5	5	5	5	-	-	[13]
Те саме, 40 %-й насичений	$t_{\text{кип}}$	10	-	-	9	8	9	8	6	-	[10]
Те саме, 50 %-й насичений	$t_{\text{кип}}$	10	10	9	-	-	9	8	6	10	[15]
Амоній хлористий, пара	400	-	-	-	-	-	9	-	-	-	[30]
	600	-	-	-	-	-	10	-	-	-	
Амоній хлорнокислий, $(\text{NH}_4)\text{ClO}_4$	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	6	5	6	5	-	-	[11]
	20	5	4	3	3	2	3	2	-	-	
Амоній щавлевокислий, $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	$t_{\text{кип}}$	9	8	-	-	-	5	-	-	-	[22]
Ангідрид миш'яковистої кислоти, водні розчини концентрацією до 2 %	20	7	5	-	-	-	2	3	2	-	
Ангідрид фосфорної кислоти, P_2O_5	20	5	5	5	-	-	-	-	-	5	[25]
Анілін (амінобензол), $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ 3 %-й і насичений	20	-	5	5	-	-	5	5	-	-	
Анілін солянокислий, $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2\text{Cl}$, точкова корозія	21	10	10	10	-	-	9	8	8	-	[23]
Атмосфера: промислова (ТК)	20	8	6	3	2	1	2	1	1	-	[31]
морська (ТК)	20	6	5	4	2	1	2	1	1	-	[15]
у сільській місцевості	20	4	3	2	-	-	1	1	1	-	[31]
у тропіках	60	-	-	-	1	1	2	1	1	-	[11]
Ацетальдегід, CH_3CHO	20	8	5	5	5	-	5	5	5	-	[24]
	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	5	-	-	5	-	-	
Ацетанлід, $\text{C}_6\text{H}_5\text{NHCOCH}_3$	20	5	5	5	5	-	5	5	5	-	[11]
Ацетилацетон, $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{COCH}_3$	20	-	-	-	5	5	5	5	-	10	
Ацетилен концентрований, C_2H_2	20	-	5	-	-	-	3	-	5	-	[25]
Ацетилцелюлоза, $[\text{C}_{12}\text{H}_{17}(\text{ONO}_2)_3]_3$, 20 %-й розчин в ацетоні	20	-	-	-	5	5	5	5	-	10	[11]
Ацетил хлористий, $\text{CH}_3\text{COC}_2\text{H}_5$	20	7	-	-	-	-	6	5	5	8	[22]
	$t_{\text{кип}}$	-	8	-	-	-	8	6	6	10	[23]
Ацетон, CH_3COCH_3	20	6	5	5	3	3	3	3	3	-	[15]
	$t_{\text{кип}}$	8	7	-	5	5	5	5	5	-	[11]
Барій азотнокислий, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	-	-	6	5	5	-	[13]
Барій вуглецевокислий, BaCO_3	20	5	5	5	-	-	5	5	-	-	[21]
Барій сірчистий, BaS	20	-	-	-	-	-	5	-	-	5	[25]
Барій сірчаноокислий, BaSO_4	20	5	5	5	-	-	5	5	-	-	[21]
Барій хлористий, BaCl_2 , насичений	$t_{\text{кип}}$	7	5	5	5	5	5	5	5	10	
Бензальдегід, $\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$	215	5	5	5	-	-	5	5	5	7	[23]
Бензилацетат, $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{C}_6\text{H}_5$	20	5	-	-	-	-	5	5	5	-	[24]
Бензин	20	3	3	3	1	-	3	3	3	-	[10]
	$t_{\text{кип}}$	5	5	5	5	-	5	5	5	-	
Бензойна кислота, $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$, будь-якої концентрації	20	3	2	1	-	-	1	1	-	10	[21]
	$t_{\text{кип}}$	5	4	3	2	2	2	2	2	10	
Бензол, C_6H_6	20	3	3	3	1	-	3	3	3	-	[15]
Бензосульфонова кислота, $\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_3\text{H}$, будь-якої концентрації	50	-	-	-	-	-	5	5	-	-	[31]
	80	-	-	-	-	10	10	9	5	-	
Бензотрихлорид, $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}_3$	20	-	5	5	-	-	3	-	-	-	[24]
Біфторид амонію, NH_4HF , концент-рацією, %: 50 (у розчині)	50	-	-	7	-	-	7	-	-	-	[33]
Те саме, 50 (у парі)	50	-	-	7	-	-	6	-	-	-	
Те саме, 80 (у розчині)	90	-	-	-	-	-	7	6	4	8	
Те саме, 80 (у парі)	90	-	-	-	-	-	8	6	5	9	
Те саме, насичений на холоді	20	9	9	8	-	5	5	5	5	-	

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Біфторид калію, КНF, концентраці- єю, %: 50 (у розчині)	50	-	-	-	-	-	4	2	2	2	[33]
Те саме, 50 (у парі)	50	-	-	-	-	-	4	4	2	4	
Те саме, 50 (у розчині)	100	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
Те саме, 50 (у парі)	100	-	-	-	-	-	-	-	5	-	
Те саме, 90 (у розчині)	115	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
Те саме, 90 (у парі)	115	-	-	-	-	-	-	-	5	-	
Біфторид калію, КНF, (розплав)	300	-	-	-	-	-	-	10	9	-	[34]
Борна кислота, Н ₃ ВО ₃ , розведена та концентрована	20	5	5	4	-	-	2	2	-	8	[15]
	<i>t</i> _{кип}	8	7	5	5	5	5	5	-	10	[21]
Бор хлористий, ВСl ₃ , безводний	20	10	-	-	-	-	5	5	-	10	[24]
Бром, Вг, сухий	20	10	10	10	-	-	10	8	8	-	
Бром в присутності водяної пари	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	[17]
Бромистий етилен, ВrСН ₂ СН ₂ Вr	20	5	-	-	-	-	5	5	5	-	[24]
	20	5	-	-	-	-	5	5	5	-	
	105	8	-	-	-	-	8	8	-	10	
Бромистий метил, СН ₃ Вr											[17]
Бромна вода: 0,3 %-ва 1,0 %-ва	20	-	-	-	-	-	7	7	5	-	
	20	-	-	-	-	-	10	8	7	-	
Бура, NaВ ₄ О ₇ ·10 Н ₂ О, 5 %-ва та наси- чений розчин	<i>t</i> _{кип}	5	5	5	-	-	5	5	5	10	[25]
Бутадиєн-1,3(дивініл)	60	1	1	-	-	-	1	1	1	-	[24]
Бутан, СН ₃ СН ₂ СН ₂ СН ₃	100	5	-	-	-	-	5	5	5	-	
Бутилацетат, СН ₃ СО ₂ С ₄ Н ₉	20	8	5	5	-	5	5	5	5	7	
Бутил хлористий, С ₄ Н ₉ Сl	21	-	-	-	-	-	5	5	-	7	[27]
Вапно хлорне, Са(ОСl) ₂ : 15 %-ве	20	-	-	-	-	-	5	5	-	-	[18]
Те саме, сухе	20	-	-	-	-	-	5	5	5	-	
Те саме, вологе	20	-	-	-	-	-	6	6	-	-	
Те саме, насичений розчин	40	10	9	-	-	-	8	7	-	-	[11]
Активний хлор: 2,5	20	10	10	-	-	-	5	5	-	-	[22]
4...8	20	-	-	-	-	-	-	5	-	-	[13]
10	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	-	-	-	5	-	-	[13]
50...200	35	-	-	-	-	-	-	5	-	-	[13]
Вініл хлористий, С ₂ Н ₂ : СНСl	50	-	-	-	-	-	-	5	5	7	[29]
Винна кислота, С ₂ Н ₂ (ОН) ₂ (СООН) ₂ , концентрацією, % 1	20	6	4	3	2	2	2	2	-	8	[11]
	40	7	5	4	3	3	3	3	-	-	
	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	5	4	5	4	-	-	
Те саме, 5	20	7	6	6	2	2	2	2	-	-	[10]
	<i>t</i> _{кип}	9	8	7	5	5	5	5	-	-	
Те саме, 10	20	7	6	6	3	2	3	2	2	-	[21]
	85	8	7	7	4	3	4	3	3	-	[11]
	<i>t</i> _{кип}	9	8	8	5	5	5	5	5	-	[21]
Те саме, 15	50	8	7	-	-	3	-	3	-	-	[10]
Те саме, 20	75	9	8	6	-	4	-	4	-	4	
	100	10	8	7	-	5	-	5	-	-	
Те саме, 25	20	8	6	6	2	2	3	2	-	-	[11]
	<i>t</i> _{кип}	10	8	7	5	5	5	5	-	-	[10]
Те саме, 40	20	8	7	6	-	2	3	2	-	-	
Те саме, 50	20	8	7	6	3	2	3	2	2	-	[21]
	<i>t</i> _{кип}	10	8	7	5	5	5	5	5	-	
Те саме, 75	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	-	-	10	7	-	-	[13]
Винна кислота, насичений розчин	<i>t</i> _{кип}	10	9	9	-	-	8	7	6	-	[21]
Вода мінеральна проточна (ТК)	48	4	-	-	-	-	3	1	1	8	[34]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вода морська (точкова корозія)	20	4	4	2	-	-	3	2	1	8	[35], [36]
	80	8	7	-	-	3	6	3	1	9	
Вода стічна, pH-3, 1900 мг/л: окис- ність, 1380 мг/л невизначених вугле- воднів, 44 мг/л летких фенолів, 2962 мг/л летких кислот (у перераху- нку на оцтову кислоту 0,3 %	50	-	-	-	-	-	1	-	-	10	[37]
Вода стічна хімічного виробництва, яка містить аміни, підвищену кількі- сть іонів хлору, сульфату	до 30	10	10	10	-	7	8	9	5	9	[38]
Вода шахтна (кисла, pH 0,5)	20	5	5	5	-	-	4	3	2	10	[39]
	60	8	7	-	6	5	5	5	3	10	[11]
Водень, H ₂	100	5	5	-	-	-	5	-	-	-	[24]
Вуглеводневий конденсат, який міс- тить (2..6)10 ³ мг/л сірководню	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2	[40]
Вуглецевокислий газ, CO ₂ , насичений парою води, якщо p=20 МПа	115	-	-	-	2	-	3	-	-	8	[19]
Вуглецева кислота, H ₂ CO ₃ (водний розчин), якщо p=1,4 МПа	55	5	-	-	-	-	5	-	-	-	[25]
Те саме, насичений розчин	20	8	7	5	-	5	-	-	-	-	
Газолін	20	5	4	4	-	-	3	3	2	-	
Гази нітрозні з парою води та киснем, якщо p=1,3 МПа	140	9	-	-	8	7	8	6	-	-	[10]
Галова кислота, C ₆ H ₂ (OH) ₂ COOH, 5 %-а	70	4	4	4	4	3	4	3	3	-	[11], [18]
Те саме, насичений розчин	10	5	5	5	5	5	5	5	-	-	
Галуни алюмінієвокалієві, KAl(SO ₄)× ×24H ₂ O, концентрацією, %, 2,5	90	7	7	6	4	3	5	3	-	-	[10]
	t _{кип}	9	8	7	5	5	6	5	-	-	
Те саме, 5,5	20	6	6	6	3	2	3	2	-	-	
	90	7	7	6	4	3	5	3	-	-	
	t _{кип}	10	8	7	3	5	6	5	6	-	
Те саме, 10	20	6	6	6	-	-	3	3	-	10	[20]
	t _{кип}	10	10	10	-	-	8	-	5	-	
Те саме, насичений розчин	t _{кип}	10	10	10	-	-	9	8	6	-	[15]
Галуни аміачні, (NH ₄) ₂ Al(SO ₄)·12H ₂ O, насичений розчин	20	4	3	2	-	2	2	-	-	-	[13]
	t _{кип}	7	6	6	-	4	5	3	3	-	
Галуни хромові, KCr(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O, 6 %	90	8	7	6	5		5	5	-	-	[10]
17 %-й розчин, насичений при 20 °С	20	6	6	5	3	4	3	4	-	-	
40 %-й гаряченасичений розчин	t _{кип}	9	8	7	-	-	7	8	5	-	[14]
Гас	20	5	5	5	-	-	5	5	3	8	[15]
Гасобензол (відгонка бензолу)	80	-	-	-	-	-	5	5	-	-	[27]
Гасобензол та олеум (реакція сульфу- рування олеумом)	20	-	-	-	-	-	6	-	-	-	
Гасобензол і суміш SO ₃ з SO ₂	20	-	-	-	-	-	5	5	-	-	
Гасобензол і сульфонова кислота	20	-	-	-	-	-	8	8	-	-	
Гіпс, CaSO ₄ ·2H ₂ O, насичений розчин	20	5	5	5	5	5	5	5	5	-	[15]
Глколь(етиленгліколь)CH ₂ OH·CH ₂ OH	20	3	3	2	-	-	1	1	1	5	
Гліцерин, CHO(CH ₂ OH) ₂	20	3	3	2	-	-	1	1	1	5	
	100	5	4	4	-	-	4	3	3	10	
Гумінові кислоти	20	5	-	-	-	-	4	3	3	-	[24]

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Д-винна кислота, COOH(CHOH) ₄ CHO: водні розчини концентрацією до 58 %	20	5	5	5	5	-	5	5	5	-	
	100	-	-	-	5	-	-	-	5	-	
	<i>t</i> _{кип}	10	10	10	5	-	5	5	-	-	
Диоксид хлору, ClO ₂ , водні розчини	20	10	10	-	-	-	6	6	5	-	
	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	-	-	10	10	8	-	
Дібутилфтолат, C ₆ H ₄ (CO ₂ C ₄ H ₉) ₂	20	5	-	-	-	-	5	5	5	5	
Дінітрохлорбензол, C ₆ H ₃ (NO ₂) ₂ Cl	21	-	-	-	-	-	5	5	-	10	
Діоксан, OCH ₂ ·OCH ₂ ·CH ₂ ·CH ₂	20	5	-	-	-	-	5	5	5	-	
Діхлорметан, CH ₂ Cl ₂	20	1	-	-	-	-	1	1	1	-	
	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	-	-	5	5	5	-	
Діхлоретан, CH ₂ Cl·CH ₂ CCl	<i>t</i> _{кип}	10	8	-	-	-	5	5	5	10	[23]
Діхлоретилен, CHCl·CHCl	<i>t</i> _{кип}	5	5	5	-	-	5	5	5	-	[13]
Дубильна (дигалова) кисло- та, C ₁₄ H ₁₀ O ₉ концентрацією, %, 1...10	20	5	5	5	-	-	5	5	5	-	[13]
Те саме, 10	80	8	5	5	-	-	5	5	5	-	
Те саме, 10	<i>t</i> _{кип}	8	6	5	5	5	5	5	5	-	[11]
Те саме, 50	<i>t</i> _{кип}	8	7	6	5	5	5	5	5	-	
	20	6	5	5	5	5	5	5	5	-	
Те саме, насичений розчин	<i>t</i> _{кип}	8	7	6	5	5	5	5	5	-	
Етан, CH ₃ CH ₃	20	5	-	-	5	-	5	5	5	-	[24]
Етилбензол, C ₆ H ₅ CH ₂ CH ₃	20	5	-	-	5	-	5	5	5	-	
Етилен, CH ₂ :CH ₂	20	5	-	-	-	-	5	5	5	-	
	20	2	-	-	-	-	2	2	2	-	
Етиленгліколь, CH ₂ OH·CH ₂ OH	150	5	-	-	-	-	5	-	-	-	
	20	5	-	-	5	-	5	4	5	-	
Етиленхлоргідрин, HOCH ₂ CH ₂ Cl	100	10	-	-	-	-	8	7	-	-	[22]
	<i>t</i> _{кип}	8	7	-	-	-	4	3	2	-	
Етилен хлористий безводний, C ₂ H ₅ Cl	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	-	-	1	-	-	-	[15]
Ефір, C ₄ H ₁₀ O	20	5	5	5	-	-	5	5	-	-	
Ефір азотистоестиловий	20	5	5	5	-	-	5	5	-	-	[13]
Ефір етиловий, (C ₂ H ₅) ₂ O	<i>t</i> _{кип}	5	5	5	5	5	5	5	5	-	[11]
Ефір оцтовоєстиловий, C ₄ H ₈ O ₂	20	-	-	-	-	-	5	-	-	-	[22]
Желатин	20	5	5	5	-	-	5	-	-	-	[25]
Залізо азотнокисле, Fe(NO ₃) ₉ H ₂ O, будь-якої концентрації	20	3	2	2	2	3	2	3	2	10	[21]
	<i>t</i> _{кип}	5	5	5	5	5	5	5	5	-	[17]
Залізо сірчанокисле закисне, FeSO ₄ ·7H ₂ O, 10 %-ве	20	3	3	3	3	3	3	3	3	-	[21]
	<i>t</i> _{кип}	-	6	6	5	5	6	5	5	10	
насичений розчин	<i>t</i> _{кип}	8	7	7	5	5	7	5	5	10	[11], [21]
Залізо сірчанокисле окисне, Fe ₂ (SO ₄) ₃ ·9H ₂ O, 10 %-ве	<i>t</i> _{кип}	-	5	5	5	5	5	5	5	10	
насичений розчин	<i>t</i> _{кип}	8	6	5	5	5	5	5	5	10	
Залізо хлористе, FeCl ₂ ·4H ₂ O, 10 %-ве	20	9	9	8	-	-	8	8	6	7	[17]
(точкова корозія)	70	10	10	10	-	-	10	9	8	10	[21]
Залізо хлорне, FeCl ₃ ·6H ₂ O 1 %-ве	20	-	6	6	-	-	6	-	-	-	[21]
	20	10	10	9	10	10	10	8	-	10	[11]
Те саме, 5...75 %-ве	60	-	-	-	10	10	10	10	9	-	[17]
Жовта кров'яна сіль (залізистосиньо- родистий калій, K ₄ Fe(CN) ₆ ·3H ₂ O	20	3	3	3	-	-	-	3	3	-	[15]
	<i>t</i> _{кип}	5	5	5	-	-	-	5	5	-	
Ідкий калій, KOH, концентрацією, %, 25	<i>t</i> _{кип}	4	4	4	3	3	4	3	3	-	[21]
Те саме, 25	20	2	2	2	2	2	2	1	2	-	[21]
Те саме, 50	<i>t</i> _{кип}	7	7	7	5	5	7	6	5	-	[11]
Те саме, 68	120	7	7	7	5	5	5	5	5	8	[21]
Те саме, розплав	30	10	10	10	10	10	20	10	10	10	

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ідкий натрій, NaOH, концентрацією, %: 10	90	5	5	-	5	4	5	4	-	-	[10]
Те саме, 20	50	4	4	-	4	3	4	4	3	-	
	90	6	5	-	5	4	5	4	-	-	
	$t_{\text{кип}}$	8	5	-	5	5	5	5	-	-	
Те саме, 20, якщо $p = 30$ МПа	400	-	-	-	-	-	8	8	-	-	[42]
Те саме, 30	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	6	5	6	5	5	-	[11]
Те саме, 40	90										[13]
	100										[11]
Те саме, 50	90										
	100										
	120										
	$t_{\text{кип}}$										[15]
Те саме, 70	90										[11]
	120										[13]
	160										[11]
Те саме, 78	120										
Те саме, 90	300										[13]
Те саме, розплав	318										[11]
Йод, I_2 , точкова корозія, вологий	20	10	10	10	-	10	10	10	-	10	[20],
Те саме, сухий	20	5	5	5	-	5	5	5	5	-	[21]
Те саме, газоподібний	300	-	-	-	-	-	6	6	6	10	[43]
Йодоформ, CHI_3 , (точкова корозія) кристалічний	21	4	4	4	-	4	4	4	4	-	[11], [27]
	пара	50	-	5	5	-	5	5	5	-	
Кадмій, Cd, розплав	400	-	-	-	-	-	8	7	-	-	[11]
Калій азотнокислий, KNO_3 , будь-якої концентрації	$t_{\text{кип}}$	5	5	5	4	4	4	4	4	9	[10]
Те саме, розплав	550	-	-	-	5	5	5	5	5	-	
Калій бромистий, KBr , 1...10 %-й, точкова корозія	15	-	-	-	-	-	3	3	3	5	[13]
	50	10	-	-	5	5	5	5	5	10	[21]
Калій двовуглецевокислий (бікарбонат калію), $KHCO_3$, 15 %-й	60	5	5	5	5	5	5	5	5	5	[21]
Калій двохромовокислий (біхромат калію), $K_2Cr_2O_7$, 20 %-й	90	5	4	4	-	3	3	3	3	-	[13]
Те саме, 25 %-й	$t_{\text{кип}}$	8	7	6	-	5	5	5	5	10	[10]
Калій йодистий, KI , водний розчин	20	8	7	6	-	2	3	2	3	-	[15]
	$t_{\text{кип}}$	10	9	8	-	4	5	5	-	10	[11]
Калій кислий виннокислий, $KHC_4H_4O_6$ (насичений розчин)	100	10	10	10	-	-	7	7	7	-	[13]
Калій кислий сірчаноокислий (бісульфат калію), $KHSO_4$, 2...15 %-й	20	8	7	7	-	4	6	5	-	-	[21]
	90	10	10	9	-	5	9	8	7	-	[10]
Калій кислий щавлевокислий (біоксалат калію), KHC_2O_4	20	5	3	3	-	-	3	3	-	-	[22]
	$t_{\text{кип}}$	10	5	-	-	-	5	5	-	-	
Калій кремнекислий, K_2SiO_3	$t_{\text{кип}}$	5	-	-	-	-	5	5	5	8	[24]
Калій марганцевокислий (перманганат калію), $KMnO_4$, будь-якої концентрації	20	4	4	3	-	-	3	2	2	5	
	$t_{\text{кип}}$	8	7	6	5	5	5	5	5	8	
	40	-	-	-	5	5	-	-	-	-	
Калій надсірчаноокислий (персульфат калію), $K_2S_2O_8$, 5 %-й розчин	40	-	-	-	5	5	-	-	-	-	[24]
Калій роданистий, $KNCS$, 68 %-й	105	10	10	-	-	-	10	6	7	10	
Калій сірчистий (сульфід калію), K_2S	20	10	9	8	5	4	5	4	3	10	[10]
Калій сірчуватистоокислий концентрований, $K_2S_2O_3$	20	-	-	-	-	-	7	-	-	-	[18]

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Калій сірчаноокислий (сульфат калію), K_2SO_4 , будь-якої концентрації	$t_{кип}$	8	7	-	-	-	5	5	5	-	[13]
Калій вуглецевоокислий (карбонат калію), K_2CO_3 , 50 %-й	$t_{кип}$	7	5	5	-	-	4	3	3	-	[24]
Те саме, розплав	900	10	10	10	10	10	10	8	-	-	
Калій вуглецевоокислий 40 %-й розчин, насичений CO_2	109	10	-	-	-	-	6	-	-	-	[44]
Те саме, насичений 97 % CO_2 +3 % H_2S	109	9	-	-	-	-	5	-	-	-	[11]
Калій оцтовоокислий розплавлений, $KC_2H_3O_2$	292	-	-	-	-	5	5	5	5	10	[13]
Калій хлористий, KCl , насичений розчин	20	7	5	-	-	-	5	5	-	-	[21]
	$t_{кип}$	10	8	-	-	-	6	6	-	10	
Те саме, розплав	860	-	-	-	-	-	8	-	8	-	[45]
Калій ціанистий, KCN , водні розчини концентрацією до 42 %	20	4	3	3	-	-	3	3	3	5	[24]
	$t_{кип}$	7	-	-	-	-	7	1	5	10	
Калій шавлевоокислий, $K_2C_2O_4$, 1 %-й	20	3	2	2	-	-	2	2	2	-	[21]
Те саме, концентрований розчин	20	5	4	-	-	-	3	3	-	5	[22]
	$t_{кип}$	10	9	-	-	-	5	5	-	-	
Кальцій азотноокислий (нітрат кальцію), $CaNO_3$, насичений розчин	100	-	5	5	-	-	4	4	3	10	[21]
Те саме, розплав	148	-	-	-	-	-	-	5	5	-	[13]
Кальцій кислий сірчистоокислий (бісульфіт), $CaHSO_3$, водний розчин	$t_{кип}$	-	1	-	-	1	2	1	1	-	[13], [21]
Те саме, якщо $p=2$ МПа	200	5	5	5	-	1	4	1	-	-	
Кальцій кислий сірчаноокислий (бісульфат), $CaHSO_4$, 5 %-й	$t_{кип}$	-	-	-	4	3	4	3	-	-	[10]
Те саме, якщо $p=2$ МПа	200	10	9	-	5	5	8	5	-	-	
Кальцій хлористий, $CaCl_2$, 5 %-й	20	6	5	5	-	-	4	4	-	-	[21]
Те саме, 10...20 %-й	50	7	6	6	5	5	5	5	-	-	
Те саме, сухий кристалічний	20	5	5	-	-	-	5	5	-	-	[15]
Те саме, вологий кристалічний	20	8	7	-	-	-	7	6	-	-	
Те саме, насичений розчин	20	7	6	-	5	5	5	5	-	-	[15]
	$t_{кип}$	9	8	-	-	6	7	6	5	10	[21]
Кальцій хлорнуватистоокислий, $Ca(OC1)_2 \cdot 4H_2O$, %, до 2	20	5	5	-	-	-	5	-	-	-	[18]
Те саме, понад 2	20	10	10	-	-	-	10	-	-	-	[22]
Те саме, 18...20	30	-	-	-	-	-	-	6	-	-	[18]
Те саме, 2...6	100	-	-	-	-	-	-	-	4	-	
Камфора, $C_{10}H_{16}O$	20	3	2	2	2	1	2	1	-	3	[11]
Каніфоль, розплав	18	-	5	-	5	-	5	-	-	-	[46]
	250	-	-	-	-	-	5	5	5	-	[47]
Каприлова кислота, $C_6H_{13}(NH_2)COOH$, 100 %-ва	160	-	-	-	6	4	5	4	-	-	[17]
Те саме, 100 %-ва під тиском	100	6	6	-	-	-	5	4	4	-	[24]
	220	-	-	-	8	5	6	5	5	-	[17]
	260	-	-	-	-	5	7	5	5	-	
	$t_{кип}$	10	10	10	-	-	8	-	5		[24]
Капринова кислота, $CH_3(CH_2)_4COOH$, 100 %-ва	160	-	-	-	5	5	5	5	-	-	[17]
Те саме, 100 %-ва під тиском	220	-	-	-	7	5	7	5	5	-	
Капронова кислота, $CH_3(CH_2)_4COOH$, 100 %-ва	100	6	-	-	5	4	5	4	-	9	[17]
	160	8	-	-	7	5	5	5	5	-	
Те саме, 100 %-ва під тиском	220	-	8	-	8	6	7	6	8	10	

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Карболова кислота (фенол), C ₆ H ₅ ОН до 100 %	20	4	3	3	-	-	3	2	2	-	[15]
	<i>t</i> _{кип}	6	5	5	-	-	5	5	5	-	[20]
Карналіт, MgCl ₂ +KCl, насичений, (ТК)	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	-	-	8	7	-	-	[13]
Кисень, O ₂	100	5	5	5	-	-	5	5	5	5	[24]
Крезол (метилфенол), CH ₃ C ₆ H ₄ ОН	20	7	8	8	-	-	5	5	5	-	
Кремнефтористоводнева кислота, H ₂ SiF ₆ , концентрацією, %, 1 ...2	60	10	10	8	8	-	8	4	4	-	[49]
Те саме, 8...10	60	10	10	8	10	-	8	8	1	-	
Те саме, будь-якої концентрації	20	10	10	10	-	-	10	8	7	10	[21]
Те саме, пара	100	10	8	7	-	-	7	5	-	-	[22]
Креозот	20	4	3	3	-	-	5	5	-	-	[22]
	60	-	-	-	-	-	5	4	4	-	
Креозот + 3 % NaCl	20	9	7	-	-	-	5	4	4	-	[24]
Кротоновий альдегід, CH ₃ CH=CHCHO	20	3	-	-	-	-	5	5	5	10	
	<i>t</i> _{кип}	-	5	5	5	5	5	5	5	-	[11]
Ксилол, C ₆ H ₁₀	<i>t</i> _{кип}	-	5	5	5	5	5	5	5	-	
Кумол (ізопропеленбензол), C ₆ H ₅ C ₃ H ₇	20	5	-	-	-	-	5	5	5	-	[24]
Лаки	-	5	5	5	-	-	5	5	5	-	[15]
Левулінова кислота, CH ₃ COCH ₂ CH ₂ CO ₂ H	20	6	5	5	-	-	5	5	5	10	[24]
Лимонна кислота, C ₆ H ₈ O ₇ · H ₂ O, концентрацією, %: 1	20	5	5	5	-	-	3	2	-	8	[15]
	<i>t</i> _{кип}	8	7	6	5	5	6	5	-	10	[21]
Те саме, 5 (p=0,3МПа)	140	-	7	-	5	5	7	5	-	-	[10]
Те саме, 5...10	20	7	6	6	4	3	4	3	-	10	
	<i>t</i> _{кип}	10	9	8	6	5	7	6	-	-	[21]
Те саме, 25	20	7	7	6	4	3	4	3	-	10	[10]
	50	8	8	7	5	4	5	4	-	-	[10]
	85	9	9	8	6	5	6	5	-	-	
	<i>t</i> _{кип}	10	10	9	8	7	8	7	-	-	
Те саме, 50	20	8	7	5	3	2	3	2	-	-	[10]
	50	9	8	8	5	4	5	4	-	-	
	<i>t</i> _{кип}	10	10	10	5	5	8	5	-	-	
Те саме, насичена при 100°C, 67 %-ва	<i>t</i> _{кип}	10	10	-	-	-	10	-	-	-	[17]
Літій хлористий, LiCl, 10 %-й розчин (точкова корозія)	21	10	8	8	-	-	3	2	2	8	
	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	-	-	5	5	-	10	[50]
Літій хлористий (в процесі сушіння)	200	8	7	6	5	5	6	6	5	-	
Магній вуглецевокислий, MgCO ₃ , волога маса	20	5	5	5	-	-	5	5	5	5	[10]
Магній сірчаноокислий, MgSO ₄ , 10 % насичений розчин	20										[21]
	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	-	-	-	5	5	-	[13]
Магній хлористий, MgCl ₂ , вологий кри сталічний (точкова корозія), %: 2,5	20	5	4	3	3	3	3	2	2	-	[13]
Те саме, 10	20	7	5	5	4	-	4	3	-	10	[21]
	<i>t</i> _{кип}	10	8	7	-	-	-	-	-	-	[15]
Те саме, 30	20	7	5	-	-	-	5	4	-	-	
	<i>t</i> _{кип}	10	7	-	-	-	5	5	-	-	[16]
Те саме, 42	135	-	-	-	-	-	5	-	-	-	
	155	-	-	-	-	-	3	-	-	-	[51]
Малеїнова кислота, C ₂ H ₂ (COOH) ₂ , концентрацію, %, 1	20	5	4	4	3	-	4	3	3	10	[13]
Те саме, 50	100	10	-	-	-	-	5	5	-	10	[22]
Марганець сірчаноокислий, MnSO ₄ , будь-якої концентрації	20	3	3	3	-	-	3	3	3	-	[13]
	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	5	5	5	5	-	-	[10]

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Марганець хлористий, $MnCl_2$, (точкова корозія) концентрацією, %: 10	20	7	5	5	-	-	2	2	-	8	[15]
	$t_{кип}$	10	10	-	5	5	5	5	-	-	
Те саме, 50	20	8	7	-	-	-	3	3	-	8	
	$t_{кип}$	10	10	-	5	5	5	5	-	-	[15]
Масляна кислота, C_3H_7COOH	20	3	2	2	-	-	2	2	-	-	
	$t_{кип}$	7	6	6	6	5	7	5	5	10	
Меламін, $C_3N_3(NH_2)_3$, 40 г/л, pH 12	95	-	-	-	3	3	-	-	-	-	[18]
Те саме, 1,5...2 г/л	30	-	-	-	3	3	-	-	-	-	
Метакрилова кислота, $CH_2=C_3(CH_3)COOC_4H_9$	30	5	4	-	-	-	2	-	-	7	[54]
	160	8	8	-	-	-	5	4	2	10	[55]
Метиламін, CH_3NH_2 , 40 %-й	95	-	-	-	5	-	-	-	-	-	[10]
Метилетенкетон, $C_2H_5COCH_3$	$t_{кип}$	5	-	-	-	-	5	5	5	-	[24]
Мінеральне масло	50	5	5	5	-	-	5	5	5	-	[15]
Мідь азотнокисла, $Cu(NO_3)_2$	20	3	3	3	-	-	2	2	-	10	
будь-якої концентрації	$t_{кип}$	5	5	5	5	5	5	5	5	10	[10]
Мідь миш'яковиста, Cu_3As_2 , будь-якої концентрації	20	5	5	5	-	-	5	5	5	-	[15]
Мідь сірчанокисла, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, (мідний купорос) будь-якої концентрації	20	3	3	2	-	-	1	1	-	10	[21]
	$t_{кип}$	5	5	4	3	2	3	2	1	-	
Те саме, насичений розчин за температури 100 °C	$t_{кип}$	7	6	5		3	3	2	1	-	
Мідь вуглецевокисла, $CuCO_3$	20	3	3	2	2	2	2	2	1	-	[13]
Мідь оцтовокисла	20	3	2	1	-	-	1	1	1	5	[15]
$CuOH(C_2H_3O_2) \cdot 6H_2O$	$t_{кип}$	5	4	3	-	-	3	3	2	10	[21]
Мідь хлорна, $Cu Cl_2$ концентрацією, %, 1 (точкова корозія)	20	-	-	-	3	2	3	2	-	-	[10]
Те саме, 1 (точкова корозія)	60	-	-	-	8	8	8	8	-	-	
Те саме, 1 (точкова корозія)	75	-	-	-	9	8	9	8	-	-	
Те саме, 5	20	-	-	-	4	3	4	3	-	10	
Те саме, 8	20	-	-	-	5	4	5	4	-	10	
Те саме, будь-якої концентрації	$t_{кип}$	10	10	10	10	8	8	8	-	10	
Мідь ціаніста, $(CuCN)_2$, насичений розчин	20	5	4	4	-	-	3	2	3	-	[15]
	$t_{кип}$	-	5	5	-	-	5	4	-	-	[13]
Мило	20	5	5	5	4	3	4	3	5	10	[15]
Молочна кислота, $CH_3CHONCOOH$ концентрацією, %: 1	20	6	6	5	3	2	3	2	2	8	[11]
	50	7	7	5	-	3	4	3	3	-	[20]
	$t_{кип}$	7	7	-	-	4	6	4	4	-	[11]
Те саме, 5	20	8	7	6	-	-	3	8	-	-	[19]
	50	9	8	8	4	3	4	3	-	-	[11]
	80	10	10	10	-	-	5	4	-	-	[13]
	90	10	10	10	-	4	6	4	-	-	[11]
	$t_{кип}$	10	10	10	5	5	7	5	4	-	[15]
	20	8	7	6	3	2	3	2	2	9	
Те саме, 10	50	9	8	7	-	-	4	3	3	-	[13]
	75	10	9	8	5	4	5	4	4	-	[11]
	90	10	9	9	-	4	6	4	-	-	
	100	10	10	10	-	5	7	5	-	-	[20]
	$t_{кип}$	10	10	10	6	6	8	6	5	-	[21]
	20	9	8	7	-	-	3	2	-	-	[13]
Те саме, 25	50	9	9	8	4	3	5	3	3	-	[11]
	90	10	9	8	-	5	8	4	-	10	[13]
Те саме, 40	90	10	10	9	7	-	8	5	4	10	[56]

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Молочна кислота, $\text{CH}_3\text{CHONCOOH}$ концентрацією, %: 50	20	9	8	7	3	2	3	2	2	10	[15]
Те саме, 50	50	10	9	8	4	3	5	3	3	3	[11]
	80	10	10	10	-	4	6	4	3	-	[13]
	90	10	10	10	-	-	7	5	-	-	
	100	10	10	10	-	5	7	-	-	-	[11]
	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	7	6	8	-	-	-	[21]
Те саме, 75	20	-	-	-	-	-	3	2	-	-	[11]
	50	-	-	-	-	-	5	4	-	-	[13]
	75	-	-	-	-	-	-	6	-	-	
	100	-	-	-	-	-	-	7	-	-	[15]
Те саме, концентрована	20	9	8	7	3	2	3	2	2	-	[13]
	50	9	9	8	-	-	7	6	3	-	
	80	10	9	8	-	-	8	-	3	-	
	100	10	10	9	-	-	9	7	4	-	
	$t_{\text{кип}}$	10	10	9	-	-	10	8	5	-	[15]
Монохлороцтова кислота, CH_2ClCOOH	20	10	10	10	-	-	10	10	-	10	[22]
Мурашина кислота, HCOOH , концен- трацією, %: 0,5	70	-	-	-	5	4	5	4	-	10	[10]
Те саме, 1,0	20	7	6	6	2	2	2	2	2	10	[21]
	40	8	7	6	3	2	3	2	-	10	[10]
	60	9	8	8	4	3	5	3	3	10	
	$t_{\text{кип}}$	10	10	9	5	4	6	4	3	-	[21]
Те саме, 2,0	20	9	8	7	3	2	3	2	-	10	[10]
	40	9	8	7	3	3	3	3	-	-	
	60	9	8	8	4	3	4	4	-	-	
	100	10	9	9	4	4	5	5	2	-	
Те саме, 5,0	20	9	8	7	3	2	3	2	-	10	[11]
	40	9	8	8	-	3	-	4	-	10	
	60	9	8	8	-	4	-	5	-	10	
	80	10	10	9	-	4	6	5	-	-	
	100	10	9	9	-	-	7	-	-	-	[21]
	$t_{\text{кип}}$	10	10	-	5	5	-	-	-	-	
Те саме, 10	20	8	7	6	3	2	5	2	2	-	[22]
	40	9	8	8	4	3	6	3	-	-	
	60	10	9	8	5	3	8	3	-	-	[13]
	100	10	9	9	6	4	8	4	-	-	[17]
	$t_{\text{кип}}$	10	10	-	8	5	9	5	5	-	
Те саме, 20	$t_{\text{кип}}$	10	10	9	8	6	10	5	5	-	
Те саме, 25	20	8	8	-	3	2	3	1	-	-	[13]
	90	10	9	9	-	5	6	4	-	-	[20]
	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	8	6	9	5	5	5	[21]
Те саме, 30	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	9	8	10	8	6	-	
Те саме, 40	$t_{\text{кип}}$	10	10	9	9	8	10	8	6	-	
Те саме, 50	20	9	9	8	3	2	3	2	-	10	[15]
	50	9	9	9	-	-	6	5	-	-	[13]
	80	10	9	9	-	-	8	6	-	-	[20]
	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	9	8	8	7	6	-	[17]
Те саме, 50 (під тиском)	140	-	-	-	10	8	10	8	7	7	
Те саме, 60	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	8	8	10	8	6	-	
Те саме, 80	20	8	7	6	2	2	5	2	-	-	
	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	9	8	8	7	6	-	[13]

<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Мурашина кислота, НСООН, концен-трацією, %, 80 (під тиском)	140	-	-	-	10	8	10	8	7	-	[17]
Те саме, 90	20	6	5	5	3	2	5	3	2	-	[15]
	40	8	6	6	-	3	6	4	-	-	[13]
	60	9	9	9	-	-	8	5	-	-	
	80	10	10	-	-	-	-	6	5	-	[10]
Те саме, 100	20	8	6	6	-	2	3	2	2	-	
	60	9	7	6	5	4	5	4	-	-	
	$t_{\text{кип}}$	10	10	8	8	6	8	6	5	-	-
Натрій азотнокислий, NaNO_3 , будь-яка концентрація	$t_{\text{кип}}$	1	1	1	1	1	1	-	-	5	[11]
розплав	360	1	1	1	-	-	1	1	-	-	[13]
Натрій азотнокислий гаряченасиче-ний розчин	$t_{\text{кип}}$	-	1	1	1	1	1	1	-	5	[11]
NaB_4O_7	20	1	1	1	1	1	1	1	-	-	[21]
Натрій бромистий, NaBr (точкова ко-розія), розчин 10 %-й	20	-	-	10	-	-	3	2	2	-	[19]
Те саме, 20	80	-	-	-	-	-	5	4	4	-	
Натрій двовуглецевокислий, NaHCO_3	60	5	5	5	5	5	5	5	-	-	[21]
Натрій кислий сірчанокислий, NaHSO_4 , концентрацією, %: 2	85	7	7	-	-	5	6	5	-	-	[10]
Те саме, 5	20	7	6	-	-	4	-	-	-	-	
	85	8	8	-	-	5	7	5	-	-	
Те саме, 10	20	8	7	-	5	4	6	4	-	-	
	50	9	8	-	-	-	7	-	-	-	
	$t_{\text{кип}}$	10	10	-	-	6	8	6	-	-	
Те саме, 15	85	10	10	-	-	6	8	6	-	-	
Натрій кремнекислий (рідке скло), NaSiO_3 , насичений	20	3	2	2	2	2	2	2	-	10	[13]
	$t_{\text{кип}}$	5	5	5	6	-	5	5	-	-	
Натрій лимоннокислий, $\text{Na}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 3,5 %-й	20	5	4	3	-	-	3	3	3	8	[21]
Натрій саліциловокислий, $\text{NaC}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{CO}_2$, насичений	20	5	4	3	-	-	3	3	-	8	
Натрій сірчанокислий, Na_2SO_4 : 25	20	5	5	4	-	-	-	-	-	-	[18]
Те саме, 5...50	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	-	-	5	5	-	-	[19]
Натрій сірчуватистокислий, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 25 %-й водний розчин	$t_{\text{кип}}$	5	5	5	-	-	5	5	-	10	[21]
Натрій сірчанокислий (глауберова сіль), $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, будь-яка концентрація	20	3	2	2	-	-	2	2	-	-	
	$t_{\text{кип}}$	7	6	5	5	5	5	5	-	10	
Натрій вуглецевокислий, $\text{NaCO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, розчин	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	10	10	10	10	-	10	[11]
Те саме, розплав	900	5	4	4	4	3	5	3	-	10	
Натрій фосфорнокислий, $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, будь-яка концентрація	$t_{\text{кип}}$	5	5	5	-	5	5	5	5	-	
Натрій фтористий, NaF , 5 %-й	20	8	7	7	-	-	-	7	6	-	[27]
Те саме, розплав	800	-	-	-	-	-	9	-	-	10	[11]
Натрій хлористий, NaCl : 3 %-й	20	7	6	5	5	4	5	4	-	9	
Те саме, 20	20	-	7	6	-	-	5	5	-	10	[13]
	$t_{\text{кип}}$	8	8	7	-	-	5	5	-	10	[21]
Те саме, насичений	20	8	7	-	-	-	6	6	5	10	[15]
	$t_{\text{кип}}$	10	8	-	-	-	7	6	5	10	

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Натрій хлорнокислий, $\text{NaClO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, 10 %-й	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	5	4	5	4	4	-	[11]
Нафтові кислоти	150	7	-	-	-	-	2	2	-	-	[57]
	200	7	-	-	-	-	2	2	-	-	
	180	10	-	-	-	-	6	4	-	-	
	350	10	-	-	-	-	10	8	-	-	
Нафтовий ефір	20	5	5	5	-	-	5	5	5	-	[15]
Нікель азотнокислий, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, 5...10 %-й	20	5	5	5	-	-	5	5	5	9	[13]
Нікель сірчанокислий, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$t_{\text{кип}}$	-	6	5	-	-	5	5	4	10	
Нікель хлористий, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	20	-	-	-	-	-	5	4	2	10	
Нітробензол, $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	21	-	-	-	-	-	3	3	-	7	[23]
Озон, O_3 (при отриманні)	-	5	5	5	-	-	-	-	-	-	[27]
Олеїнова кислота	100	5	5	5	5	5	5	5	5	8	[24]
	200	9	10	9	5	5	6	5	5	-	[21]
	300	10	9	8	-	-	7	6	6	-	[15]
Олія льняна (гаряча)	-	1	3	-	3	3	3	3	-	-	[10]
Оліфа	20	5	5	5	-	-	5	5	-	-	[25]
Олово амонійнохлористе, $(\text{NH}_4)_2\text{SnCl}_6$, насичений розчин	20	9	8	-	-	-	3	2	2	10	[22]
	60	10	10	-	-	-	10	10	10	10	
Олово металеве, Sn, розплав	300	-	-	-	-	-	5	5	-	-	[13]
	400	-	-	-	-	-	7	7	-	-	
	500	-	-	-	-	-	9	9	-	-	
	600	-	-	-	10	10	10	10	-	-	
Олово хлористе, SnCl_2 (точкова корозія), 5...24	20	10	10	10	-	-	8	8	-	10	[15]
Те саме, 24	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	-	-	10	10	-	10	
Оксид барію, BaO , насичений розчин	$t_{\text{кип}}$	5	5	5	-	-	5	5	5	-	[18]
Оксид вуглецю, CO_2 (газ)	760	5	5	5	-	-	5	5	-	-	[25]
	870	-	5	5	-	-	5	5	-	-	
Освітлювальний газ	50	5	5	5	-	-	5	5	-	-	[67]
Оцтова кислота, CH_3COOH , концентрацією: 1	90	5	5	5	4	3	4	3	-	-	[21]
	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	5	4	5	4	-	-	
Те саме, 5	20	6	5	4	1	1	1ë	1	-	8	[11]
	50	7	6	6	3	2	3	2	-	-	[13]
	75	8	6	6	4	3	4	3	-	10	
	90	9	7	6	-	4	6	4	-	-	
	$t_{\text{кип}}$	10	8	7	6	5	6	5	-	-	[21]
Те саме, 10	20	7	6	6	2	1	2	1	-	10	[24]
	75	8	7	6	3	2	3	2	-	-	[11]
	90	9	8	7	-	4	5	3	-	-	[13]
	$t_{\text{кип}}$	10	9	7	6	5	8	5	-	-	[11]
Те саме, 15	20	7	6	6	1	1	1	1	-	10	[13]
	40	8	7	7	2	2	4	2	-	-	[15]
	80	9	8	7	4	3	5	3	-	-	
	$t_{\text{кип}}$	10	9	8	-	5	8	5	-	10	[24]
Те саме, 20	20	7	6	6	2	1	2	1	1	-	[21]
	$t_{\text{кип}}$	10	9	8	6	5	8	4	-	-	

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Оцтова кислота, CH ₃ COOH, концент- рацією: 25	50	8	7	7	2	3	3	2	-	-	[13]
	75	9	8	7	3	4	5	3	-	-	[11]
	90	9	8	7	-	4	7	4	-	-	[13]
	<i>t</i> _{кип}	10	10	9	-	5	8	5	-	-	[11]
Те саме, 33	20	8	7	6	1	1	1	10	-	-	[13]
	40	8	8	7	3	2	3	2	-	-	
	80	10	9	8	4	3	6	3	-	-	
	<i>t</i> _{кип}	10	10	9	-	5	8	-	-	-	
Те саме, 50	20	7	7	6	1	1	3	1	-	-	[21]
	50	8	7	7	3	2	3	2	-	-	[13]
	60	-	-	-	4	3	4	3	-	-	[11]
	75	8	7	7	-	4	5	4	-	-	[10]
	90	9	8	7	-	5	6	5	-	-	
	100	10	9	8	-	5	8	5	-	-	
	<i>t</i> _{кип}	10	10	9	98	7	9	5	-	10	
	<i>t</i> _{кип}	-	10	-	3	3	10	-	-	-	[16]
Те саме, 60	20	7	6	6	3	3	3	2	-	10	[13]
	40	8	7	7	5	5	5	3	-	-	[11]
	<i>t</i> _{кип}	10	-	-	6	5	7	5	-	-	[20]
Те саме, 70	20	7	-	-	3	2	3	2	-	-	[13]
	40	8	-	-	4	3	4	3	-	-	
	<i>t</i> _{кип}	10	-	-	7	6	8	5	-	-	
Те саме, 80	20	6	5	5	1	1	2	2	-	-	[11]
	40	8	7	6	3	2	5	4	-	-	
	80	9	8	-	-	4	5	5	-	-	[13]
	<i>t</i> _{кип}	10	9	8	8	6	8	6	6	-	[17]
Те саме, концентрована	20	5	3	3	3	2	3	2	-	-	[11]
	75	6	5	4	3	3	3	-	-	-	[15]
	80	7	-	-	-	3	4	3	-	-	[13]
	90	8	-	-	5	5	5	5	-	-	
	100	9	8	8	-	6	-	-	-	-	
	<i>t</i> _{кип}	10	9	8	-	6	8	6	6	-	[20]
Те саме, 98	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	6	5	7	5	-	-	[53]
Те саме, 98 (під тиском)	165	-	-	-	-	-	9	7	-	-	[17]
	200	-	-	-	-	-	10	8	-	-	[20]
Те саме, 100	20	6	5	-	-	4	5	4	-	-	[10]
	75	7	5	-	-	-	6	-	-	-	
	80	8	-	-	-	5	7	5	-	-	
	90	9	-	-	6	5	6	5	-	-	
	100	10	8	-	-	6	-	-	-	-	
	<i>t</i> _{кип}	10	10	-	-	7	8	6	-	-	
Оцтовий ангідрид, (CH ₃ CO) ₂ O	20	6	5	5	-	2	3	2	-	7	[15]
	80	8	5	5	-	-	5	4	-	-	[20]
	<i>t</i> _{кип}	10	9	8	8	7	8	5	-	10	
Оцтова (98...99 %) і мурашина (0,35 %) кислоти	50	-	-	-	2	2	3	2	-	-	[20]
	118	-	-	-	8	5	5	4	-	-	[11]
Суміш продуктів окиснення Н-бутану (64 % оцтової, 3 % мурашиної кислот, 8 % етиметилкетону, 3 % ацетону, 4 % бутилового спирту, 1 % бутила- цетату), решта – вода	140	-	-	-	8	6	8	6	-	-	[53]
	160	-	-	-	8	6	8	6	-	-	

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Суміш кислот C ₁ ...C ₄ (25 % оцтової, 46 % мурашиної, 9,5 % пропіонової, 9,5 % масляної), решта – вода	20	-	4	-	4	4	4	4	-	-	[53]
	60	-	5	-	5	5	5	5	-	-	
		-	8	-	8	7	8	7	-	-	
Суміш кислот, %, Оцтова + мурашина		-	8	-	7	5	8	6	-	-	
60 + 2		-	-	-	8	6	8	6	-	-	
60 + 5		-	-	-	8	6	8	6	-	-	
60 + 10		-	-	-	6	5	6	5	-	-	
96 + 2		-	-	-	7	5	7	5	-	-	
93 + 5		-	-	-	-	6	-	6	-	-	
88 + 10		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
60 + 10	60	-	-	-	5	4	5	4	2	-	[58]
З доступом повітря у відкритих посудинах	60	-	-	-	5	4	5	4	3	-	
90 + 10	95	-	5	-	5	5	5	5	5	4	
90 + 2	95	-	-	-	5	4	6	4	-	-	
90 + 5	95	-	-	-	7	5	7	4	-	-	
90 + 10											
50 + 4 під тиском, МПа:	150	-	-	6	-	6	7	8	-	-	
0,02											
0,2	150	-	-	4	-	4	8	4	-	-	
0,3	165	-	-	6	-	8	8	8	-	-	
0,4	165	-	-	4	-	-	8	7	-	-	
0,8	165	-	-	-	-	-	5	4	-	-	
Пальмінова кислота, CH ₃ (CH ₂) ₁₄ CO ₂ H	185	-	10	-	-	5	8	5	-	-	[10]
Пара водяна насичена з 10...12 % CO ₂ 5...6 % H ₂ S при 2,5...3 МПа	150	5	5	-	5	5	5	5	-	-	
Парафін	100	5	5	5	-	-	5	5	5	-	[15]
Пара води	300	7	6	5	-	-	5	-	5	-	
Пара H ₂ SO ₄	55	6	6	6	5	4	4	2	-	8	[59]
Пара H SO ₄ , HNO ₃	55	4	4	4	3	3	3	2	-	6	
Пара SO ₂ , NH ₃ (вологі)	55	4	4	4	3	2	3	2	-	6	[59]
Пара H ₂ SO ₄ , SO ₂	55	6	5	5	4	4	4	3	-	7	
Пара SO ₂ (вологі)	55	6	6	6	4	3	4	3	-	8	
Пара кремнефтористого водню, H ₂ SiO ₆	100	-	-	-	-	-	6	-	-	-	[20]
Пара фтористого водню, HF	100	-	-	-	-	-	7	-	-	-	
Пара хлористого водню, HCl	20	-	-	-	-	-	6	-	-	-	
	100	-	-	-	-	-	7	-	-	-	
	500	-	-	-	-	-	9	-	-	-	
Перекис барію, BaO ₂ , 10 %-й розчин	95	9	-	-	-	-	5	5	5	10	[21]
Перекис водню, H ₂ O ₂ , 20 %-й	20	3	3	3	5	-	3	3	3	10	
	90	10	8	8	-	-	7	7	6	10	
Перекис натрію, Na ₂ O ₂ 10 %-й	100	7	6	5	5	5	5	5	-	10	[10]
Персульфат калію, K ₂ S ₂ O ₈ , 5 %-й	40	-	-	-	5	5	-	-	-	-	
Перфторалкан рідкий	0	-	-	-	-	-	-	4	-	-	[49]
Пікрінова кислота, (NO ₂) ₃ C ₆ H ₂ OH(NO ₂) ₃ , 10 %-а	20	5	5	5	-	-	5	5	5	10	[15]
	<i>t</i> _{кип}	10	10	-	-	-	5	5	5	10	
Пірогалова кислота, C ₆ H ₃ (OH) ₃ , 10 % будь-якої концентрації	20	2	2	2	-	-	1	1	1	-	
	<i>t</i> _{кип}	5	5	5	-	-	5	5	5	7	
Піридин, C ₃ H ₆ NOH	21	-	-	-	-	-	5	4	-	7	[23]

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Пропіленгліколь, $\text{CH}_2\text{CHOH}\cdot\text{CH}_2\text{OH}$	20	3	2	-	-	-	1	-	-	-	[22]
Пропілен дихлористий, $\text{CH}_2\text{CH:CCl}_2$	20	4	3	-	-	-	1	-	-	-	
Пропіонова кислота, $\text{C}_2\text{H}_5\text{CO}_2\text{H}$, %: 40	$t_{\text{кип}}$	-	2	2	2	-	2	2	2	10	[57]
Те саме, 60	$t_{\text{кип}}$	-	4	4	2	-	6	2	2	10	
Те саме, 98,8	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	8	-	-	-	3	10	[60]
П'ятиоксид ванадію, V_2O_5 , розплав	800	-	-	8	-	-	10	-	-	-	
Роданистий амоній, 20 %-й	75	4	-	-	4	-	4	1	3	7	[29]
	$t_{\text{кип}}$	4	-	-	4	-	4	4	5	8	
Ртуть азотнокисла, $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$, насичений розчин	20	3	3	3	3	3	3	3	3	8	[11]
	$t_{\text{кип}}$	5	5	5	5	5	5	5	5	10	
Ртуть металева	50	5	5	5	5	5	5	5	5	-	[21]
Ртуть хлориста, HgCl_2 : 0,1	20	8	7	7	-	-	6	5	5	-	
	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	-	-	7	6	5	-	
Те саме, 0,7	20	9	8	7	-	-	7	7	-	-	
	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	-	-	10	10	-	-	
Ртуть хлорна, HgCl , (ТК): 0,1	20	7	6	6	-	-	6	5	5	10	
	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	-	-	8	6	5	-	
Те саме, 0,7	20	8	7	7	-	-	7	-	-	-	
	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	-	-	4	8	4	-	
Те саме, 5	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	-	8	9	9	5	-	[17]
Ртуть ціаніста, $\text{Hg}(\text{CN})_2$, 5 %-ва	20	10	10	10	5	5	5	5	5	10	[13]
Саліцилова кислота, $\text{HO}(\text{C}_6\text{H}_4\text{CO}_2\text{H})$: 0,5	85	3	3	3	-	-	2	2	2	10	[13]
Те саме, 10	20	3	3	3	-	-	2	2	2	10	[15]
	$t_{\text{кип}}$	5	4	-	-	-	3	3	-	-	
Свинець азотнокислий, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, 50 %	$t_{\text{кип}}$	-	5	5	5	5	5	5	5	10	[21]
Свинець, Pb, розплав	400	10	9	8	5	-	1	5	-	-	
	600	-	-	9	-	-	8	6	-	-	[11]
	900	-	-	-	-	-	9	8	-	-	
Свинець оцтовокислий, $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COOH})_2$: 20	20	3	3	3	-	-	2	2	-	10	[13]
	90	5	4	4	3	3	3	3	-	-	[10]
	$t_{\text{кип}}$	6	5	5	-	-	5	5	-	-	[13]
Те саме, 25	90	5	4	4	-	-	3	3	-	-	[20]
	$t_{\text{кип}}$	6	5	5	5	5	5	5	4	-	[21]
Те саме, 75	20	4	4	3	-	-	3	3	2	5	[61]
Те саме, насичений розчин	90	5	5	4	-	-	4	4	3	-	[13]
	$t_{\text{кип}}$	6	5	5	-	-	5	5	4	-	[61]
Селен, Se, просте або окиснювальне переплавлення та його дистиляція	230	-	7	7	-	-	-	-	7	-	[62]
Спалювання селену в середовищі O_2	600	-	10	10	-	-	-	-	10	-	[62]
Сечовина (карбамід), $\text{NH}_2\text{COONO}_4$, концентрацією, %, 55...65	20	1	1	1	-	-	1	1	1	1	[15]
Те саме, 60 і 92	110	-	-	-	3	2	-	-	-	-	[63]
Сірка, S, розплав	114	5	4	3	-	-	5	5	-	8	[27]
	130	6	5	4	-	-	6	6	-	9	
Те саме, кипляча	445	10	10	8	-	-	8	-	-	-	[21]
Сірчана кислота, H_2SO_4 , концентрацією, %, 10	20	10	10	10	5	4	5	4	3	-	
	50	10	10	10	6	5	6	5	3	-	
	75	10	10	10	7	6	7	7	4	-	
	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	10	10	10	10	5	-	[17]

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сірчана кислота, H ₂ SO ₄ , концентрація, %: 20	20	10	10	10	7	6	7	6	3	-	[14]
	60	10	10	10	8	7	8	8	4	-	[13]
	75	10	10	10	9	8	9	9	5	-	[15]
	100	10	10	10	10	10	10	10	6	-	[17]
Те саме, 25	20	10	10	10	7	6	7	6	3	-	[14]
Те саме, 40	20	10	10	10	7	6	7	6	3	-	
	50	10	10	10	8	7	8	7	4	-	
Те саме, 60	100	10	10	10	10	10	10	10	7	-	[11]
	20	9	8	8	4	4	4	3	1	5	[14]
	70	10	10	10	10	9	10	9	6	-	
Те саме, 80	100	10	10	10	10	10	10	10	8	-	[15]
	20	8	7	6	4	4	5	5	1	10	[13]
	60	10	9	8	9	8	9	8	1	-	
Те саме, 85	80	-	-	-	-	-	-	-	7	-	[11]
	110	10	10	10	-	-	10	100	8	-	
	20	8	7	6	-	3	4	4	2	10	
	60	-	-	-	-	8	8	8	4	-	
	80	9	8	8	-	8	8	8	5	-	
Те саме, 93	110	-	-	-	10	10	10	10	8	-	
	120	10	10	10	-	-	10	9	6	-	
	70	-	-	-	-	9	8	10	81	-	
Те саме, 94	80	-	-	-	9	10	10	8	8	-	
Те саме, 98	20	6	6	6	4	3	4	3	1	6	
	100	8	8	7	10	9	10	9	5	-	[13]
	150	10	10	10	10	10	10	10	10	-	[11]
Те саме, 100	20	5	4	4	4	3	5	3	1	-	
	70	-	-	-	-	7	9	8	5	-	[14]
	150	10	10	10	-	10	10	10	8	-	[11]
Те саме, з 5 % SO ₃ з 10 % SO ₃ з 60 % SO ₃ з 60 % SO ₃	65	-	-	-	-	5	-	5	-	5	
	100	-	-	-	-	-	8	-	-	-	
	20	-	-	-	5	5	5	5	-	-	
	65	-	-	-	-	-	8	-	-	-	
Те саме 1..2 % під тиском	190	-	-	-	-	-	-	-	10	-	
Будь-якої концентрації, під тиском	190	-	-	-	-	-	-	-	10	-	
	250	-	-	-	10	10	10	10	10	-	
Сірчиста кислота, H ₂ SO ₃ , 2 % SO ₃	20	-	7	1	-	-	-	-	-	8	[13]
	50	-	8	8	-	-	-	-	-	-	[11]
Те саме, 20 % SO ₃	20	9	9	8	-	-	5	5	-	-	[13]
Те саме, насичена	20	10	9	8	5	5	5	5	-	-	[10]
	100	10	10	10	-	-	8	5	4	-	[15]
Сірчистий газ, SO ₂ , насичений водний розчин	20	10	9	-	-	-	6	5	4	10	[20]
	135	-	-	-	-	-	7	5	-	-	
Те саме, якщо <i>p</i> =0,6 МПа	150	10	9	9	-	5	7	5	2	-	[13]
Те саме, якщо <i>p</i> =0,8 МПа	160	-	-	-	-	-	8	6	-	-	[20]
Те саме, якщо <i>p</i> =1,0 МПа	180	-	-	-	-	-	8	7	-	-	
Те саме, якщо <i>p</i> =1,8 МПа	200	-	-	-	-	-	9	8	-	-	
Сірководень, H ₂ S, вологий	20	4	8	-	-	5	5	5	-	10	[27]
	200	5	5	5	4	4	5	-	-	-	[64]
Сірководень, H ₂ S, сухий	20	5	5	5	-	-	3	3	2	-	[27]
	100	-	-	-	-	-	5	5	4	-	
	200	10	10	10	-	-	10	-	-	-	

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сірководень, H ₂ S, сухий	310	-	-	-	-	-	6	-	-	8	[64]
	360	-	-	-	2	2	7	-	-	9	
	420	-	-	-	-	-	8	-	-	10	
	500	-	-	-	-	-	8	-	-	10	
	550	-	-	-	-	-	10	-	-	10	
	650	-	-	-	-	-	10	-	-	-	
Сірководень, розведений азотом	170	-	-	-	-	-	-	-	-	6	
	200	-	-	-	-	-	-	-	-	7	
	310	-	-	-	-	-	5	-	-	8	
	360	-	-	-	-	-	7	-	-	8	
	420	-	-	-	-	-	7	-	-	8	
	500	-	-	-	-	-	-	-	-	10	
	550	-	-	-	-	-	6	-	-	10	
	650	-	-	-	-	-	6	-	-	-	
Сірковуглець, CS ₂	<i>t</i> _{кип}	5	5	5	5	5	5	5	5	-	[27]
Скипідар	35	5	5	-	-	-	1	1	-	-	[15]
Смола (парова фаза)	220	-	1	1	1	1	1	-	-	-	
Смола очищена	<i>t</i> _{кип}	1	1	1	1	1	1	1	-	-	[13]
Смола, яка містить 15 % кислот (парова фаза)	<i>t</i> _{кип}	-	4	-	2	5	4	-	-	-	[65]
Смола, яка містить 2,5...5 і 12 % кислот (парова фаза)	170	-	7	-	6	6	7	-	-	-	
Соляна кислота, HCl (точкова корозія) концентрацією, %: 0,2	20	8	6	6	5	4	4	4	4	-	[13]
	50	8	7	7	6	5	5	5	5	-	
Те саме, 0,5	20	8	6	6	-	5	5	4	4	9	[14]
	50	8	7	7	-	6	6	5	5	-	[13]
	<i>t</i> _{кип}	10	10	10	10	9	9	8	8	10	[14]
Те саме, 1,0	20	9	9	8	6	5	5	5	4	10	[11]
	50	9	9	9	10	9	9	8	6	-	
Те саме, 2,0	20	9	8	8	6	5	5	5	5	-	[13]
	60	10	9	9	10	9	9	9	8	-	[11]
Те саме, 3,0	20	9	9	8	6	5	5	5	5	-	[13]
Те саме, 5,0	20	9	8	8	7	6	6	5	5	-	[11]
	60	10	10	10	10	9	9	8	7	-	[13]
Те саме, 10	20	10	10	10	7	6	6	6	6	10	[14]
	60	10	10	10	10	9	9	9	8	-	[13]
Те саме, 20	20	10	10	10	9	8	8	7	6	-	[11]
	60	10	10	10	10	8	8	8	8	-	[13]
Те саме, 30	20	10	10	10	9	8	8	7	6	-	
	60	10	10	10	10	9	9	8	7	-	
Те саме, 37	20	10	10	10	10	10	9	9	7	10	[18]
	60	10	10	10	10	10	10	10	10	-	[13]
	100	10	10	10	10	10	10	10	10	-	[18]
Спирт аміловий, CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₂ OH	100	5	-	-	-	-	3	2	1	6	[24]
Спирт бензиловий, C ₆ H ₅ CH ₂ OH	20	3	-	-	-	-	1	1	1	6	
	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	-	-	4	3	-	-	
Спирт бутиловий, CH ₃ (CH ₂) ₂ CH ₂ OH	20	3	2	2	1	-	1	1	1	6	
Спирт етиловий, C ₂ H ₅ OH	20	2	2	1	1	-	1	1	1	-	
	<i>t</i> _{кип}	4	3	2	2	-	2	2	2	6	
Спирт етиловий + 1 % H ₂ SO ₄	40	-	-	-	-	-	6	4	-	9	[22]
Спирт метиловий, CH ₃ OH	20	3	2	1	1	-	1	1	1	5	[24]
	<i>t</i> _{кип}	5	3	2	2	-	3	1	1	8	

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Спирт метиловий з домішками (0,07... 0,08 %) HCl	25	-	2	5	-	-	-	5	5	5	[66]
Срібло азотнокисле, AgNO ₃ , 5 %-ве	20	5	5	5	5	5	5	5	5	10	[13]
Те саме, 10 %-ве	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	5	5	5	5	-	10	[11]
Срібло азотнокисле, розплав (ТК)	250	10	9	-	10	5	6	6	6	-	[11]
Срібло бромисте, AgBr (ТК)	-	-	9	8	10	5	5	8	6	-	
Срібло хлористе, AgCl (ТК)	-	-	5	5	-	-	-	5	5	-	
Стеаринова кислота, C ₁₇ H ₃₅ CO ₂ H	20	3	2	2	-	-	-	2	1	1	[21]
	80	5	3	3	-	-	-	3	2	-	[13]
	100	6	5	4	-	-	-	4	3	2	[24]
	130	-	-	-	-	-	-	5	3	-	[13]
	300	8	7	6	-	-	-	6	5	4	[15]
Стирол, C ₆ H ₅ CH=CH ₂	20	2	-	-	-	1	-	1	-	-	[24]
	60	-	-	-	-	-	-	5	-	-	
Сульфат цинку, ZnSO ₄ , 14 %-й насичений розчин	20	5	4	3	-	1	2	2	1	-	[11]
	<i>t</i> _{кип}	8	7	-	-	2	3	3	2	-	
Сульфітовий газ, який містить відпрацьовані гази, якщо <i>p</i> = 0,6 МПа	150	10	10	-	10	-	5	8	5	-	
Сульфітовий щолок, свіжий варильний або відпрацьований	20	-	-	-	-	-	-	3	2	-	[13]
	80	-	-	-	-	-	-	6	4	-	
	140	10	10	10	10	-	-	8	5	-	
Суміші кислот, які вміщують 600 мг/л іонів хлору: HNO ₃ (0,1 %) + H ₂ SO ₄ (0,5 %) HNO ₃ (0,5 %) + H ₂ SO ₄ (0,1 %) HNO ₃ (0,5 %) + H ₂ SO ₄ (0,5 %0 HNO ₃ (1,0 %) + H ₂ SO ₄ (1 %)	160	-	-	-	-	9	8	9	8	6	[84]
	160	-	-	-	-	6	4	7	4	4	
	160	-	-	-	-	8	4	8	5	4	
	160	-	-	-	-	8	5	8	6	4	
Суміші кислот, %, HNO ₃ + H ₂ SO ₄ 0,5 + 70	70	-	-	-	-	-	6	5	3	10	[10]
1,0 + 50	50	-	-	-	4	4	5	4	4	10	
1,9 + 82	60	-	-	-	-	-	-	6	-	-	[13]
3 + 30	50	-	-	-	4		4	5	5	4	[10]
3 + 30	<i>t</i> _{кип}	-	10	10	-	-	7	-	-	-	[13]
3 + 60	110	-	-	-	8	7	6	6	-	-	[10]
3 + 60	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	-	-	8	-	-	-	[13]
3 + 69	60	-	-	-	5	5	5	5	5	10	[10]
3,3 + 52,5	85	-	-	-	-	7	5	5	5	10	
5 + 15	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	5	5	5	5	5	-	
5 + 30	95	-	-	-	5	5	5	5	5	10	
5 + 30	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	-	5	8	-	-	-	
5 + 50	50	-	-	-	5	-	5	5	5	10	
5 + 55	85	-	-	-	5	5	5	5	5	10	
5 + 65	70	-	-	-	7	5	8	7	-	10	
5 + 65	100	-	-	-	9	9	10	9	-	-	
8 + 40	80	-	-	-	5	5	6	6	5	10	
10 + 10	65	-	-	-	-	-	5	-	-	10	[13]
10 + 25	85	-	-	-	-	-	6	-	-	10	[10]
10 + 50	85	-	-	-	-	-	6	-	-	10	
10 + 60	60	-	-	-	5	5	5	5	5	10	
10 + 60	110	-	-	-	-	-	7	-	-	-	[13]
10 + 60	160	-	-	-	-	-	10	-	-	-	
10 + 70	60	-	-	-	5	5	5	5	5	10	[10]

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Суміші кислот, %, HNO_3 + H_2SO_4	50	-	5	5	-	-	-	-	-	10	[14]
30 + 5	95	-	-	-	-	-	7	7	-	-	[13]
10 + 70	168	10	10	10	-	-	10	10	-	-	
13 + 38	85	-	-	-	-	-	7	6	-	-	
15 + 20	50	-	-	-	5	5	5	5	5	10	[10]
15 + 60	60	7	-	-	-	-	-	-	-	10	[13]
15 + 80	20	5	4	4	4	4	5	4	5	-	[10]
15 + 80	60	7	6	6	-	-	6	-	-	10	[13]
20 + 70	60	-	-	-	5	5	5	5	5	10	[10]
20 + 80	20	5	4	4	4	4	5	4	3	-	
20 + 80	60	6	-	-	-	-	-	-	-	-	[13]
25 + 25	40	5	5	5	4	4	5	4	4	-	[10]
25 + 25	80	-	-	-	-	-	7	-	-	-	
25 + 70	20	5	5	5	4	5	5	4	4	-	
25 + 70	60	6	6	5	-	-	5	5	5	-	[13]
25 + 70	100	9	8	7	-	-	7	-	-	-	[10]
25 + 75	60	8	7	5	5	5	5	5	-	-	
25 + 75	95	-	-	-	-	-	7	-	-	-	[13]
25 + 75	157	10	10	10	-	-	9	-	-	-	
30 + 10	85	-	-	-	-	-	5	-	-	-	
30 + 25	85	-	-	-	5	-	6	-	-	-	[10]
36 + 5	85	-	-	-	5	-	5	5	-	-	
38 + 60	50	-	-	-	-	-	5	5	-	-	[13]
40 + 10	85	-	-	-	5	-	5	-	-	-	[10]
40 + 20	85	-	-	-	5	5	5	5	-	-	
40 + 25	85	-	-	-	-	-	8	-	-	-	
40 + 60	20	5	5	5	5	5	5	5	-	-	
40 + 60	60	8	7	7	-	-	7	6	-	-	
40 + 60	100	9	8	8	-	-	6	6	-	-	[13]
50 + 10	85	-	-	-	-	-	6	-	-	-	
50 + 50	60	7	7	6	5	5	5	5	-	10	[10]
50 + 50	95	-	-	-	-	-	7	6	-	10	[13]
50 + 50	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	-	-	10	10	-	-	[10]
52 + 45	40	8	8	7	6	6	5	5	-	10	
55 + 5	85	-	-	-	5	-	5	-	-	-	
88 %-ва азотна кислота + 12 %-ва сірчана, решта – вода	27	3	-	-	-	-	4	-	-	10	[14]
	150	5	-	-	-	-	8	-	-	-	
Азотна + оцтова 20.....20 40 20	20	-	-	-	-	-	3	3	3	-	[10]
	20	-	-	-	3	3	3	-	-	-	
Азотна 50 %-ва + щавлева (350 г/л)	70	-	-	-	-	-	5	4	4	10	
	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	-	-	-	-	8	-	
Сірчана + оцтова 2 + 0,55 2 + 25 5 + 90 10 + 90	80	10	10	10	-	-	-	8	7	-	[13]
	20	-	-	-	-	-	-	5	4	-	[10]
	20	-	-	-	-	-	5	4	5	4	
	20	-	-	-	-	-	5	4	5	4	
Сірчана+оцтова+оцтовий ангідрид, % 5 + 47,5 + 47,5 5 + 47,5 + 47,5 5 + 47,5 + 47,5	20	-	10	-	3	2	3	2	2	-	[10]
	40	-	10	8	5	4	5	4	4	-	
	80	10	10	-	-	-	-	-	-	-	
	80	10	10	-	-	-	-	-	-	-	

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сірчана + фосфорна	20	-	-	-	8	5	7	5	5	-	[10]
1 + 30	80	9	8	7	-	7	8	7	-	10	
2 + 40	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	10	10	9	-	-	10	
2 + 40											
12 % H_2SO_4 ($\rho=1830\text{кг/м}^3$) + 75 % H_3PO_4 ($\rho=1579\text{кг/м}^3$) + 13 % гліцерин	90	-	-	-	-	8	10	-	5	-	[11]
33 % H_2SO_4 ($\rho=1830\text{кг/м}^3$) + 34 % вода + 33 % гліцерин	60	-	-	-	-	10	10	-	5	-	
40 % H_2SO_4 ($\rho = 1830 \text{ кг/м}^3$) + 40 % H_3PO_4 + 3 % Cr_2O_3 + 17 % вода	90	-	-	-	-	5	5	-	5	-	
1 % H_2SO_4 + 55 % H_3PO_4 + 1 % H_2SiF_6 (ТК)	70	-	-	-	-	5	-	9	-	-	[13]
	90	-	-	-	-	-	-	9	-	-	
H_3PO_4 (80-ва) + HF (1 %-ва) – (ТК)	36	-	-	-	-	-	-	3	-	-	[11]
Оцтова (63 %) + мурашина (3,3 %) кислоти під тиском	145	-	-	-	6	5	6	5	-	-	
Оцтова (80 %) + мурашина (0,1 %) кислоти	103	-	-	-	7	3	5	2	-	2	[20]
Оцтова (96 %) + мурашина (0,35 %) кислоти	70	-	-	-	4	1	3	1	-	-	
	113	-	-	-	8	3	5	3	-	-	
Суміші жирних кислот: $\text{C}_5 \dots \text{C}_9$	225	-	-	-	6	5	6	5	-	-	[53]
	265	-	-	-	8	5	7	5	-	-	
	280	-	-	-	8	5	7	5	-	-	
	300	-	-	-	9	7	8	7	-	-	
Те саме, $\text{C}_{10} \dots \text{C}_{16}$	225	-	-	-	6	5	6	5	-	-	
	265	-	-	-	8	5	7	5	-	-	
	280	-	-	-	8	5	7	5	-	-	
	300	-	-	-	9	7	8	7	-	-	
Те саме, $\text{C}_{17} \dots \text{C}_{21}$	225	-	-	-	6	5	6	5	-	-	
	265	-	-	-	8	5	7	5	-	-	
	280	-	-	-	8	5	7	5	-	-	
	300	-	-	-	9	7	8	7	-	-	
Суміш кислот і солей: 60 % HNO_3 + 15 % NaNO_3	70	-	-	-	5	5	5	5	-	-	[10]
15 % H_2SO_4 + 5 % NaNO_3 + 3 % HCl	80	-	-	-	-	-	-	-	10	-	[11]
H_2SO_3 + $\text{Ca}(\text{HSO}_3)$ + 6 % SO_2 (водний розчин)	140	-	-	-	-	5	8	5	-	10	
H_2SO_4 , % + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, %	$t_{\text{кип}}$	10	10	-	8	-	-	-	-	-	[10]
1 + 38	90	-	-	-	5	4	5	4	-	-	
2 + 40	100	-	-	-	-	7	8	8	-	-	
2,5 + 55											
Молочна кислота, $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$, + + 2,5 % $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	5	5	5	5	-	-	
H_2SO_4 , %, + $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, %	35	3	2	2	-	-	2	2	2	-	[13]
1 5											
1,5 + 2,5	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	5	5	5	5	5	10	[10]
5 + 5	35	4	3	3	-	-	-	3	3	10	[13]
10 + 5	35	4	3	3	-	-	-	3	3	10	[10]
H_2SO_4 , %, + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, %	$t_{\text{кип}}$	10	10	-	-	-	8	-	-	-	[10]
1 + 35	90	-	-	-	5	4	5	4	-	-	
2 + 40	100	-	-	-	-	7	8	9	-	-	
2,5 + 55											
10 + насичений	100	5	5	5	-	8	9	8	-	-	

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
75 %-й розчин $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ + до 20г/л вільної H_2SO_4 ($p = 0,1\text{МПа}$)	90	-	-	-	-	-	5	-	-	-	[19]
H_2SO_4 , % + $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ % 8 + 20	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	[13]
10 + 2	$t_{\text{кип}}$	10	8	7	-	-	-	-	-	-	[20]
H_2SO_4 , % + $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, % 2 + 10	100	-	-	-	4	4	5	4	3	-	[10]
8 + 1	20	4	3	3	3	3	4	3	3	-	
8 + 2	20	2	2	2	3	3	3	3	3	-	
10 + 2	$t_{\text{кип}}$	5	5	5	9	8	9	8	-	-	
H_2SO_4 , % + $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 5 + 1	20	10	9	8	5	4	5	4	3	-	
4 + 5	20	5	5	5	5	4	5	4	3	-	
5 + насичена	20	5	5	5	5	4	5	4	3	10	
8 + 0,05	80	10	10	10	9	9	5	8	-	-	
8 + 1	20	10	8	8	5	5	5	5	-	-	
8 + 5	20	7	7	6	5	4	5	4	-	8	
10 + 10	$t_{\text{кип}}$	8	7	-	5	5	5	5	-	-	
5 % H_2SO_4 + 15 % $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	95	10	9	-	-	5	9	9	-	-	[13]
HNO_3 , %, + KNO_3 , %, + AlNO_3 , % 15 + 13 + 30	90	-	-	-	-	-	5	6	-	-	
65 + 11 + 20	60	-	-	-	-	-	6	5	-	-	
H_2SO_4 (500г/л) + $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (400г/л)	110	10	10	10	10	10	10	9	6	10	[11]
H_2SO_4 , % + ZnSO_4 , % 0,5 + 30	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	-	5	-	8	-	-	[10]
2 + 45	80	10	10	-	-	8	9	-	-	-	
$\text{H}_2\text{SO}_3 + \text{Ca}(\text{HSO}_3)_2 + 6\% \text{SO}_2$ (водний розчин)	140	-	-	-	-	5	8	5	-	10	[10]
$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	140	-	-	-	-	-	7	6	-	-	[13]
3 % H_2SO_4 + суперфосфат	20	-	-	-	-	-	5	5	-	10	
Оцтова кислота, %, + NaCl , % 7 + 5	70	-	-	-	-	5	6	5	-	-	[10]
10 + 5	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	-	5	7	6	-	-	
Оцтова кислота, % + оцтовий цинк, % + хлористий цинк, % 33,3 + 33,3 + 33,3	20	-	5	5	3	3	5	3	-	-	
33,3 + 33,3 + 33,3	40	-	9	9	-	5	8	5	-	-	
H_3PO_4 (до 15 %) + H_2SO_4 (до 20 %) + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (до 30 %)	100	-	-	-	-	5	5	5	5	-	[11]
4 % H_3PO_4 + 20 % H_2SO_4 + 30 % $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	50	-	-	-	-	5	5	5	5	-	[13]
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (2,5 %) + амоній оцтовокислий 3 %-й	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	-	5	5	5	-	10	[11]
Залізо хлорне, % + натрій хлористий, % 5 + 10	25	-	-	-	-	5	-	5	-	-	[13]
5 + 10	70	-	-	-	10	10	10	10	10	-	[11]
Суміш: йод (2 %) + 1 %-й водний розчин йодистого калію (ТК)	20	-	-	-	-	5	-	5	-	-	[13]
NaClO , % + NaCl , % 30 + 5	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	-	-	5	5	5	-	
35 + насичений	120	-	-	-	-	-	8	-	-	-	
70 + насичений	120	-	-	-	-	-	6	-	-	-	

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CuCl ₂ , % + NaCl, % 2 + 5	70	-	-	-	8	8	9	8	7	-	[17]
	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	10	10	10	9	9	-	
	70	-	-	-	9	9	9	8	7	-	
	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	10	10	10	10	10	-	
5 + 10	70	-	-	-	9	9	9	8	7	-	[11]
10 + 10	70	-	-	-	9	9	9	8	7	-	
NaOH (65 %) + Na ₂ S·9H ₂ O (10 %)	165	-	-	-	-	-	10	10	-	-	
NaOH (5 %) + Na ₃ PO ₄ ·12H ₂ O (10 %)	80	10	10	-	-	5	-	5	-	-	
NaOH (7 %) + NaCl (0,4 %)	<i>t</i> _{кип}	5	-	-	-	-	5	5	-	-	[13]
NaOH (2,5 %) + Na ₂ S·9H ₂ O (1 %)	<i>t</i> _{кип}	5	-	-	-	-	5	5	-	-	
CO ₂ (10 %) + H ₂ S (5 %) + водяна пара під тиском 30 МПа	150	5	5	5	-	-	5	-	-	8	[11]
Сурма розплавлена, Sb	650	10	10	10	10	10	10	10	10	10	[21]
Сурма трихлориста, SbCl ₃ , будь-яких концентрацій	20	10	10	10	10	8	10	8	7	-	[17]
Танін: 10 %-й	20	3	2	2	-	-	1	1	1	-	[15]
	<i>t</i> _{кип}	6	5	5	-	-	4	4	-	-	
Те саме, 5 %-й	20	4	2	2	-	-	2	2	-	-	
	<i>t</i> _{кип}	9	6	6	-	-	5	5	-	-	
Тетрахлорид цирконію, ZrCl ₄ у потоці пари	350	-	-	-	-	-	6	-	-	-	[67]
	450	-	-	-	-	-	7	-	-	-	
	830	-	-	-	-	-	10	-	-	-	
Тіонілхлорид: чистий	45	5	5	-	-	-	4	-	-	6	
Те саме, сирець	45	4	-	-	-	-	4	-	-	8	[24]
Толуол, C ₆ H ₅ CH ₃	<i>t</i> _{кип}	5	5	5	7	-	5	5	5	-	
Трифтороцтова кислота, CF ₃ COOH 10...60 %-ва	20	-	-	-	1	-	1	1	1	-	[68]
	50	-	-	-	2	-	2	2	1	-	
	80	-	-	-	3	-	3	3	1	-	
	20	-	-	-	2	-	3	2	1	-	
Те саме, 60...99,5 %-ва	50	-	-	-	6	-	6	6	1	-	[24]
	80	-	-	-	6	-	8	8	4	-	
	20	10	10	10	-	-	5	5	5	10	
	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	-	-	10	10	10	10	
Трихлоретан, CH ₂ ClCHCl ₂	<i>t</i> _{кип}	7	-	-	-	-	5	5	-	6	[24]
Триетаноламін, N(CH ₂ CH ₂ OH) ₂	20	-	-	-	1	-	1	-	-	6	
Трихлоретилен, C ₂ HCl ₃	20	5	5	5	-	-	5	5	5	5	
Трихлоретилен, C ₂ HCl ₃	<i>t</i> _{кип}	9	8	7	-	5	6	5	5	10	
Фіксаж кислий: 40 % Na ₂ S ₂ O ₃ ·H ₂ O + 4,7 % Na ₂ SO ₃ ·7H ₂ O + 0,5 % H ₂ SO ₄	20	3	2	2	-	-	-	3	2	5	[24]
	<i>t</i> _{кип}	5	5	5	5	-	-	5	5	10	
Формалін (формальдегід), CH ₂ O, 40 %-й	20	3	2	2	-	-	3	2	2	5	
	<i>t</i> _{кип}	5	5	5	5	-	5	5	5	10	
9,2 %-й	90	-	-	-	4	-	-	-	-	-	[18]
Формаїд, HCONH ₂	20	-	-	-	-	-	3	3	2	5	
	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	-	-	5	5	5	10	
Фосген, COCl ₂ , рідкий безводний	20	-	-	-	-	-	1	1	-	-	
Фосфіти: 24,1 % P ₂ O ₅ , 3,4 % SO ₃ , 0,94 % F	76	-	-	7	-	-	4	4	-	-	[10]
Фосфорна кислота, H ₃ PO ₄ , концентрація, %: 1	20	4	3	2	1	1	1	1	-	10	
	<i>t</i> _{кип}	8	7	6	3	3	3	3	3	-	
	20	4	3	2	1	1	1	1	-	-	
Те саме, 5	50	5	4	3	2	2	2	2	-	-	
	85	5	4	3	3	3	2	2	2	-	[21]
	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	4	4	4	-	-	-	

Продовження табл. А.1

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Фосфорна кислота, H_3PO_4 , концентрація, %: 10	20	8	8	6	1	1	1	1	-	10	
	50	-	-	-	3	3	2	3	-	-	[20]
	85	-	-	-	3	3	3	3	-	-	[11]
	$t_{кип}$	9	8	-	4	4	4	4	3	-	
Те саме, 20	$t_{кип}$	9	-	-	-	-	4	-	-	-	[16]
Те саме, 25	20	8	7	6	1	1	1	1	-	-	[21]
	50	9	8	7	-	-	2	2	-	-	[13]
	85	9	8	7	3	3	3	3	-	-	[11]
	$t_{кип}$	-	-	-	4	5	5	4	4	-	[21]
Те саме, 30	20	8	7	6	-	-	2	2	-	10	[13]
	100	10	9	8	4	4	5	5	-	-	[11]
Те саме, 40	50	9	8	6	3	3	3	3	-	-	[10]
	100	10	9	8	-	5	6	5	-	-	
	$t_{кип}$	10	10	8	-	-	-	5	-	-	[13]
Те саме, 45	20	9	7	5	-	-	-	-	-	10	[20]
	$t_{кип}$	10	10	9	-	-	7	-	-	-	
Те саме, 50	20	8	7	5	2	2	3	3	-	-	[15]
	50	-	7	5	4	3	4	3	-	-	[10]
	85	-	8	6	5	4	5	4	-	-	
	$t_{кип}$	10	9	8	-	2	-	5	-	-	[17]
Те саме, 65	20	10	8	5	2	2	3	3	-	-	[10]
	80	10	8	6	4	4	5	5	-	-	
	110	10	9	9	7	6	8	6	-	-	[11]
Те саме, 80	60	10	9	-	-	-	5	5	-	-	[13]
	100	10	9	9	-	-	8	7	-	-	[15]
	110	10	10	10	-	-	9	7	-	-	[20]
Те саме, 85	20	4	4	3	4	3	4	3	-	-	[21]
	50	5	5	5	-	-	5	4	-	-	[10]
	85	9	8	8	7	6	6	5	-	-	
	$t_{кип}$	10	10	10	5	5	8	7	5	-	[17]
Те саме, 90	20	5	5	5	-	-	4	4	-	-	[10]
	80	-	-	-	5	4	7	6	3	3	[13]
	110	10	10	10	-	-	10	10	-	-	[15]
Те саме, 10...50 під тиском	100	10	10	10	-	10	10	10	-	-	
	180	-	-	-	10	10	10	10	-	-	[17]
	200	-	-	-	-	10	10	10	10	-	[69]
Фосфор, Р	95	5	5	5	-	-	5	5	-	-	[21]
Фосфор трихлористий, PCl_3	20	-	-	-	1	-	-	-	-	3	[70]
	76	-	-	-	-	-	2	1	-	3	
	300	-	-	1	-	-	2	1	3	6	
Фосфору хлорксид, $POCl_3$	20	-	-	-	1	-	6	-	-	6	[71]
	104	-	-	2	1	-	8	2	-	8	
	300	-	-	1	4	-	3	3	2	6	
Фотопроявлювальні ванни (ТК)	20	8	6	5	-	-	5	4	-	-	[15]
Фреон, $CFCl - CFCl_2$	150	2	2	2	1	1	2	1	-	5	[24]
Фреон 11	250	-	4	-	-	-	4	-	4	7	[72]
Фталійова кислота, $C_6H_4(CO_2H)_2$	20	10	7	-	-	-	5	-	-	10	[22]
	220	-	-	-	-	-	8	5	-	-	[24]
Фтор, F, сухий газ	20	1	1	1	-	-	1	1	-	-	[15]
	200	6	8	-	-	-	1	1	-	10	[14]
	250	-	-	-	-	-	10	-	-	-	
	300	10	10	-	-	-	10	-	-	-	

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Фтористоводнева кислота, HF, (ТК): 5 %-ва	20	-	-	-	10	10	10	7	6	-	[17]
Те саме, 10 %-ва	20	-	-	-	-	-	7	7	6	10	[10]
	100	10	10	10	-	-	8	7	-	-	[13]
Те саме, 40 %-ва	20	10	10	10	10	8	10	8	-	10	[11]
Те саме, сухий газ	100	10	-	-	10	7	8	7	6	-	[14]
Те саме, 90 %-ва в розчині	115	-	-	-	-	-	1	1	1	-	[33]
Те саме, 80 %-ва в парі	115	-	-	-	-	-	2	2	2	-	
Фурфурол, C ₅ H ₄ O ₂ , концентрований розчин	<i>t</i> _{кип}	4	5	4	1	-	1	2	5	6	[13]
	пара	5	5	-	-	-	3	3	5	8	
Хінін сірчаноокислий, C ₂₀ H ₂₄ O ₂ N ₂ ·H ₂ SO ₄ , будь-якої концентрації	20	8	8	-	5	5	5	5	-	10	[15]
Хлор, Cl, сухий газ	20	-	-	-	-	5	5	5	-	-	[10]
Те саме, вологий газ (точкова корозія)	20	10	10	-	-	-	10	10	-	10	[17]
Те саме, водний розчин, 1 г/л Cl	20	-	-	-	-	-	-	5	-	-	[17]
	50	-	-	-	-	-	-	5	-	-	
Те саме, водний розчин, 1,3 г/л	20	-	-	-	-	-	-	7	-	-	[17]
	50	-	-	-	-	-	-	8	-	-	
Те саме, водний розчин, насичений Cl	20	-	-	-	-	-	8	-	-	-	[14]
Хлор	280	-	-	-	-	-	7	-	-	-	
	315	-	-	-	-	-	8	7	-	-	
	343	-	-	-	-	-	8	8	-	-	
	400	-	-	-	-	-	10	8	-	-	
	455	-	-	-	-	-	10	10	-	-	
Хлораль (домішки: хлор, вода, етиловий ефір)	<i>t</i> _{кип}	8	8	8	-	-	6	-	-	10	[27]
Хлорамін, C ₇ H ₇ O ₂ Cl	<i>t</i> _{кип}	-	5	-	-	5	8	5	5	-	[22]
Хлорбензол, C ₆ H ₅ Cl	<i>t</i> _{кип}	-	-	-	-	-	5	5	5	-	[13]
Хлористий амоній, NH ₄ Cl, (ТК) концентрація, %: 1	20	4	3	3	-	-	3	3	-	-	[10]
Те саме, 5	90	8	7	6	5	4	5	4	-	-	
	<i>t</i> _{кип}	9	8	7	5	4	5	5	-	10	
Те саме, 10	20	6	5	5	-	-	4	3	-	-	[15]
	50	-	-	-	-	-	5	-	-	-	[13]
	90	8	7	6	5	4	5	4	-	-	[10]
	<i>t</i> _{кип}	10	8	7	5	5	8	6	-	10	[21]
Те саме, 25	90	9	8	-	-	5	8	5	-	-	[10]
	<i>t</i> _{кип}	10	9	-	8	6	8	7	6	-	[17]
Те саме, 30	50	-	-	-	5	5	5	5	-	-	[13]
Те саме, 40	<i>t</i> _{кип}	10	-	-	9	8	9	8	6	-	[10]
Те саме, 50	<i>t</i> _{кип}	10	10	9	-	-	9	8	6	10	[15]
Те саме, пара	400	-	-	-	-	-	9	-	-	-	[30]
	600	-	-	-	-	-	10	-	-	-	
Хлористий ацетил, CH ₃ COC1	<i>t</i> _{кип}	-	-	7	-	-	6	5	-	-	[13]
Хлористий бензил, C ₆ H ₅ CH ₂ Cl	20	8	-	-	-	-	5	5	5	0	[24]
	100	-	-	-	-	-	5	5	5	-	[24]
Хлористий бензоїл, C ₇ H ₅ OC1	20	-	-	-	-	-	-	-	5	-	[15]
Хлористий бензол, C ₆ H ₅ Cl	20	10	10	-	-	-	5	5	-	-	
Хлористий водень, HCl, газ сухий	20	-	-	-	-	-	8	6	-	-	[22]
	100	10	10	-	-	-	10	10	-	-	
Хлористий водень, HCl, газ сухий	500	10	10	10	-	-	10	10	-	-	[22]
Хлористий метил, CH ₃ Cl	<i>t</i> _{кип}	5	5	-	-	-	5	5	-	10	[15]

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Хлориста сірка, SCl_4	20	8	8	-	5	5	5	5	-	-	
	$t_{\text{кип}}$	10	10	-	5	5	5	5	-	-	
Хлорсилан, $(\text{CH}_2\text{Cl})_4\text{Si}$	20	-	-	-	-	-	5	5	5	-	[24]
Хлористий фосфор, PCl_5	20	10	10	-	-	-	8	7	-	-	[15]
Хлористий цинк, ZnCl_2 , насичений (ТК)	20	8	7	6	-	-	6	5	-	-	
	$t_{\text{кип}}$	10	10	9	-	6	9	8	-	10	[63]
Хлористий етил, $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$, сухий	20	10	10	9	-	6	9	8	-	10	[11]
	$t_{\text{кип}}$	6	6	-	-	5	5	5	-	10	
Хлористий етилен, $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$	20	-	-	-	-	4	5	4	3	-	[13]
Хлорна кислота, HClO_4 , (ТК)		8	8	7	-	-	7	-	-	-	
Хлорновата кислота, HClO_3 , (ТК)		10	10	10	-	-	9	8	8	-	
Хлорносірчана кислота, HOCISO_2 , (ТК): 5 %-ва		10	-	-	5	5	5	5	-	10	[11]
Те саме, 10 %-ва		10	9	9	-	7	8	7	-	10	[13]
Те саме, концентрована		10	-	-	5	5	5	5	-	10	[11]
Хлорноватистокислій кальцій, $\text{Ca}(\text{ClO}_2)_4\text{H}_2\text{O}$, розведений розчин: з 0,3 % Cl	20	8	7	-	-	-	6	6	5	-	[15]
Те саме, з 3 % Cl	20	9	8	-	-	-	7	7	5	-	[17]
Те саме, розчини вищих концентрацій	20	10	9	-	-	-	8	8	-	-	[15]
	70	10	10	-	-	-	10	10	-	-	
Хлоросульфонова кислота, HClSO_3 , 10 %-ва	20	10	10	10	-	-	10	9	9	-	[11]
Хлороформ, CHCl_3	20	4	3	3	-	-	2	1	1	-	[13]
	$t_{\text{кип}}$	8	6	5	4	3	-	3	3	10	[22]
Хлороцтова кислота, CH_3COOC_1 , (ТК):10 %-ва	20	10	10	10	-	-	5	5	5	-	[24]
Те саме, 50 %-ва		10	10	10	10	9	10	9	9	10	[13]
Те саме, концентрована		10	10	10	10	9	10	9	-	10	[17]
Хромовая кислота, H_2CrO_4 , %, 10	40	5	5	5	-	-	5	5	5	-	[13]
Те саме, 10	$t_{\text{кип}}$	8	7	7	-	-	7	7	-	-	[10]
Те саме, 20	50	-	5	5	5	-	-	5	-	-	
Те саме, 40	50	8	8	7	-	5	7	8	-	-	[21]
Те саме, 50	20	7	7	-	-	-	5	5	-	-	
	$t_{\text{кип}}$	10	10	-	-	-	8	8	-	-	[11]
Те саме, 62 %-ва (насичена)	20	7	-	-	-	8	7	8	-	-	
	40	8	-	-	-	-	8	9	-	-	
	$t_{\text{кип}}$	10	-	-	10	-	10	10	-	-	
Царська горілка – суміш (1:3) концентрованих кислот соляної та азотної	20	10	10	10	-	-	-	10	10	-	[21]
Целюлоза (під час варіння)	-	8	6	-	-	-	1	1	-	-	[18]
Ціаніста кислота, HCN , насичений розчин	20	10	8	7	-	-	5	5	-	-	[15]
Ціановая кислота, HCNO	-	10	9	8	-	-	5	5	-	-	[22]
Циклогексан, $\text{CH}_2(\text{CH}_2)_4\text{CH}_2$	$t_{\text{кип}}$	5	-	-	5	-	5	5	5	-	[24]
Циклогексанон, $\text{CO}(\text{CH}_2)_4\text{CH}_2$	20	5	-	-	-	-	5	5	5	-	
Цинк металевий, Zn , розплав	50	10	10	10	10	10	10	10	-	10	[21]
Цинк ціаністий, $\text{Zn}(\text{CN})_2$, водний розчин	20	8	8	-	-	-	5	5	-	-	[15]
Цирконій хлористий, ZrCl_4	930	-	-	6	-	-	6	-	7	-	[18]
Чорнило	20	8	7	5	-	-	5	5	-	-	[15]
Чотирихлористий вуглець, CCl_4 , сухий 1...50 %-й	20	3	3	3	-	-	3	3	-	-	[15]
	$t_{\text{кип}}$	5	5	5	-	-	5	6	-	-	

Закінчення табл. А.1

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Щавлева кислота, $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, концентрацією, %: 2,5	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	-	-	10	8	5	-	[11]
Те саме, 5	20	8	7	6	-	-	5	4	-	-	[13]
Те саме, 5	85	8	7	7	-	6	7	5	-	-	[13]
Те саме, 10	20	8	7	6	5	5	5	5	-	-	[20]
	50	8	8	7	-	5	6	5	-	-	[13]
	75	8	8	8	-	-	7	6	-	-	
	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	8	7	10	8	6	-	[17]
Те саме, 25	85	9	9	8	9	7	9	8	-	-	[13]
	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	-	9	10	8	-	-	[20]
Те саме, 30	75	10	10	10	-	-	9	-	-	-	[13]
Те саме, 50	$t_{\text{кип}}$	10	10	10	-	6	10	10	6	-	[17]
Те саме, 80	70	-	-	-	-	-	10	8	-	-	[13]
Щавлевокислий натрій, $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, або калій, $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$, будь-якої концентрації	20	5	3	3	-	-	3	3	-	-	[21]
	$t_{\text{кип}}$	7	5	-	-	-	5	5	-	-	
Яблучна кислота, $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$: 1 %-ва	20	5	4	3	3	2	3	2	-	8	[10]
	100	10	-	-	5	4	5	4			
Те саме, 5...50 %-ва	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	-	5	5	5	-	10	[11]
Янтарна кислота, $\text{C}_2\text{H}_4(\text{COOH})_2$ будь-якої концентрації	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	-	5	5	5	-	10	

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1. Корозійна стійкість хромомарганцевонікелевих сталей за десятибальною шкалою

Корозійне середовище	Концен-трація, %	Темпе-ратура, °С	Швидкість корозії				Літера-турне джерело	
			08Х18Г8Н2Т		10Х14Г14Н4Т			
			мм/рік	бал	мм/рік	бал		
<i>І</i>	2	3	4	5	6	7	8	
Азотиста кислота, ННО ₂	5	20	-	-	-	9	[73]	
Азотна кислота, ННО ₃	5	80	0,038	3	0,0127	4	[74]	
		<i>t</i> _{кип}	0,078	5	0,2535	6		
	7	20	-	2	-	4	[10]	
		<i>t</i> _{кип}	-	5	-	6		
	10	80	0,002	2	0,0291	4	[74]	
		<i>t</i> _{кип}	0,1485	6	0,2742	6		
	20	20	-	3	-	5		
		80	0,13	6	-	6		
		<i>t</i> _{кип}	0,2016	6	0,319	6		
	30	<i>t</i> _{кип}	0,51	6	0,85	7		
	37	<i>t</i> _{кип}	0,495	6	-	-	[10]	
	40	80	0,125	6	0,154	6	[74]	
		<i>t</i> _{кип}	0,48	7	1,02	8		
	50	<i>t</i> _{кип}	0,48	7	1,02	8	[14]	
	58	20	-	5	-	5	[74]	
		80	0,154	6	0,105	6		
		<i>t</i> _{кип}	2,88	8	3,2	8		
		65	20	-	5	-		5
			80	0,21	6	0,319		6
		60	<i>t</i> _{кип}	-	8	-		8
	66	20	-	4	-	-	[20]	
		<i>t</i> _{кип}	-	5	-	-		
	концентро-ана така, що димить, ρ=1520 кг/м ³	20	-	5	-	-		
		<i>t</i> _{кип}	-	9	-	-		
Алюміній сірчаноокислий, Al(SO ₄) ₃	10	<i>t</i> _{кип}	-	5	-	5	[74]	
Амоній азотнокислий, NH ₄ NO ₃	насичений розчин	<i>t</i> _{кип}	-	5	-	6	[20]	
Амоній азотнокислий + Н ₂ SO ₄		60	-	5	-	10	[74]	
		120	-	10	-	-		
Амоній вуглецевокислий, (NH ₄) ₂ CO ₃	10	<i>t</i> _{кип}	-	5	-	5		
Амоній сірчаноокислий, (NH ₄) ₂ SO ₄	насич. розч.		-	5	-	5		
Амоній хлористий, NH ₄ Cl	насичений розчин	85	-	5	-	-	[74]	
		<i>t</i> _{кип}	-	9	-	-		
Ангідрид оцтової кислоти, C ₄ H ₆ O ₃	-	20	-	5	-	-	[20]	
	-	<i>t</i> _{кип}	7	-	-	-		
Ангідрид фосфорної кислоти, Р ₂ О ₅	-	20	-	5	-	-		
Ацетон, CH ₃ COCH ₃	-	<i>t</i> _{кип}	-	5	-	6		
Бензойна кислота, C ₆ H ₅ COOH	будь-якої концентрації	<i>t</i> _{кип}	-	5	-	-	[10]	
Борна кислота, Н ₃ ВО ₃	насичений розчин	<i>t</i> _{кип}	5	-	-	-	[20]	
Винна кислота, С ₂ Н ₂ (ОН) ₂ (СООН) ₂	10	20	-	3	-	5		
	10	<i>t</i> _{кип}	-	5	-	8		
Вода водогінна, Н ₂ О	-	85	-	1	0,0005	1	[74]	
Вода морська	-	16...25	-	8	-	8	[11]	
Вуглецю діоксид, СО ₂	вологий	100	-	7	-	-	[74]	

1	2	3	4	5	6	7	8
Вуглець чотирехлористий, CCl_4	сухий	$t_{\text{кип}}$	-	5	-	-	
Галова кислота, $\text{C}_6\text{H}_2(\text{OH})_2\text{COOH}$	насичений розчин	100	-	5	-	-	[11]
Галуни калієвоалюмінієві, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	10	20	-	5	-	-	[20]
	10	$t_{\text{кип}}$	-	8	-	-	
Дубильна кислота, $\text{C}_{14}\text{H}_{10}\text{O}_9$	10	$t_{\text{кип}}$	-	5	-	-	[20]
Залізо сірчаноокисле (закисне), $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	10	$t_{\text{кип}}$	0,0111	4	0,079	3	[74]
Залізо сірчаноокисле (окисне) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	10	$t_{\text{кип}}$	0,0339	4	0,0238	4	
Залізо хлористе, $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	10	$t_{\text{кип}}$	0,043	5	0,3405	6	
Залізо хлорне, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	10	$t_{\text{кип}}$	7,27	9	8,11	10	
Йод, J:							[73]
сухий	-	20	-	-	-	5	
вологий	-	20	-	-	-	10	
Калій азотнокислий, KNO_3 ,	50	$t_{\text{кип}}$	-	5	-	-	[20]
Калі їдке, KOH	10	$t_{\text{кип}}$	-	5	-	5	
Калій двохромовокислий, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	10	$t_{\text{кип}}$	-	5	-	5	
Калій марганцевокислий, KMnO_4	-	20	-	5	-	-	
	-	100	-	10	-	-	
Кальцій сірчаноокислий, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	10	$t_{\text{кип}}$	-	5	-	5	
Кальцій хлористий, CaCl_2	насичений розчин	100	-	10	-	-	
Карбамід, $\text{NH}_2\text{COONO}_4$	70	120	0,05	5	0,05	5	[75]
Кремнефтористоводнева кислота, H_2SiF_6	пара	100	-	10	-	-	[74]
Лимонна кислота, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	10	20	-	3	-	5	[20]
		$t_{\text{кип}}$	-	8	-	-	
Ляна олія	-	-	-	-	-	5	[73]
Малеїнова кислота, $\text{C}_2\text{H}_2(\text{COOH})_2$	-	100	-	5	-	-	[74]
Мідний купорос, $\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	10	$t_{\text{кип}}$	0,0036	2	0,0115	4	
	насичений розчин		-	4	-	5	[20]
Молочна кислота, $\text{CH}_3\text{CHONCOOH}$	1,5	20	-	3	-	-	
	1,5	$t_{\text{кип}}$	-	5	-	-	[10]
	5	80	-	6	-	10	
	10	20	-	3	-	-	[20]
	10	$t_{\text{кип}}$	-	7	-	-	
Молоко	свіже	$t_{\text{кип}}$	-	-	-	5	[73]
Мурашина кислота, HCOOH	10	20	-	-	-	9	[20]
		80	-	-	-	5	
	$t_{\text{кип}}$		10,0	10	10,0	10	[74]
Мурашина кислота, HCOOH	40	$t_{\text{кип}}$	-	10	-	10	[74]
	50	20	-	3	-	9	
	50	$t_{\text{кип}}$	-	10	-	10	
	70		-	10	-	10	
	80		-	10	-	10	
			-	5	-	5	
Натрій азотнокислий, NaNO_3	10	$t_{\text{кип}}$	-	5	-	5	
Натрій їдкий, NaOH	розплав		-	10	-	-	
Натрій сірчаноокислий, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	10		-	6	-	-	
Натрій сірчистоокислий, $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	10...25		-	7	-	8	

1	2	3	4	5	6	7	8
Натрій сірчуватистоокислий, Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	25	t _{кип}	-	5	-	5	[20]
Натрій сірчистий, Na ₂ S·9H ₂ O	50		-	5	-	5	[76]
	29	70	-	-	0,0045		
	27,5	88...96	-	-	0,0102	4	
	48...55	160	-	-	2,89	8	
Натрій кислий вуглецевокислий, NaHCO ₃	10	t _{кип}	-	5	-	-	[10, 20]
	насичений		-	5	-	5	
	3	85	-	-	0,0004	1	
Натрій фосфорнокислий, Na ₃ PO ₄ ·12H ₂ O	-	t _{кип}	-	5	-	-	[74]
Натрій хлористий, NaCl, (точкова корозія)	3	85	-	-	0,04	4	[34]
	5	t _{кип}	0,017	4	-	-	
	20		0,028	4	0,065	5	
Натрій хлорнуватокислий, NaClO ₃	-	20	10	-	-	-	[74]
Нікель сірчанокислий, NiSO ₄ ·7H ₂ O	10	t _{кип}	-	5	-	6	
Нікель вуглецевокислий, NiCO ₃			-	5	-	5	
Олеїнова кислота, C ₁₇ H ₃₃ COOH	будь-якої концен-трації	80	-	5	-	2	[10]
Те саме, якщо p=1,5МПа		100	-	-	-	5	[20]
		150	-	5	-	-	
		180	-	6	-	-	
	Оцтова кислота, CH ₃ COOH	10	80	-	2	-	
t _{кип}			0,016	4	0,7501	7	
20		80	-	3	-	5	
		t _{кип}	0,052	5	0,826	7	
30		80	-	3	-	5	
		t _{кип}	0,024	4	0,86	7	
50		80	0,022	2	-	4	
		t _{кип}	-	6	2,85	8	
80		80	0,041	4	-	5	
		t _{кип}	0,22	6	1,76	8	
Оцтовий ангідрид, (CH ₃ CO) ₂ O	-	20	-	-	-	5	[73]
		t _{кип}	-	-	-	7	
Оцтовокислий свинець, Pb(CH ₃ COO) ₂	25	t _{кип}	-	5	-	8	[20]
Перекис водню, H ₂ O ₂	20	20	-	-	-	5	[21]
		90	-	-	-	10	
Перекис натрію, Na ₂ O ₂	10						[20]
Пірогалова кислота, C ₆ H ₃ (OH) ₃	будь-якої концентр.	t _{кип}	-	5	-		
Пральні порошки «Астра», «Лотос»	3	85	-	-	0,0003	1	[73]
Сірка, S	розплавлена	125	-	5	-	-	
		425	-	10	-	-	
Сірководень, H ₂ S	-	100	-	5	-	-	[74]
	-	200	-	10	-	-	
Сірчана кислота, H ₂ SO ₄	3	20	-	-	-	7	
	5		3,44	8	10	10	
	10		24,76	10	-	10	
	20		71,22	10	-	10	
	40		78,55	10	-	10	

1	2	3	4	5	6	7	8
Сірчана кислота, H_2SO_4	60	20	46,4	10	-	10	[74]
	80		-	6	-	7	
	98		-	-	-	6	[73]
	насичений розчин		-	5	-	-	
Соляна кислота, HCl	0,5	20	-	9	-	-	[10, 20]
		$t_{\text{кип}}$	-	10	-	-	
	3,6	20	-	10	-	-	
	5	20	4,21	10	-	-	
	10	20	6,55	10	-	-	[125]
	20	20	9,02	10	-	-	
Суміш кислот: $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$	15 + 60	60	-	8	-	9	[20]
	15 + 80	20	-	5	-	5	
	20 + 80	60	-	8	-	9	
	50 + 50		-	6	-	8	
	25 + 75		-	7	-	8	
	10 + 90		-	6	-	7	
Суміш кислот та солей: $\text{HNO}_3 (\rho=1520\text{кг/м}^3) + \text{Al}_2(\text{NO}_3)_2$	10 + 5	$t_{\text{кип}}$	-	8	-	-	[20]
$\text{HNO}_3 (\rho=1520\text{кг/м}^3) + \text{KNO}_3$	10 + 4		-	9	-	-	
$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	10 + 3		-	6	-	-	
$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	10 + 2		-	7	-	-	
	20 + 10		-	10	-	10	[74]
$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} + \text{мідь металева}$	10 + 16		0,1	5	0,2911	6	
Формальдегід (формалін), CH_2O	46	$t_{\text{кип}}$	-	5	-	5	[20]
Фосфорна кислота, H_3PO_4	10	20	-	2	-	3	
		80	-	4	-	5	[74]
		$t_{\text{кип}}$	0,085	5	0,3	7	
	20	80	-	4	-	5	
		$t_{\text{кип}}$	0,075	5	0,12	6	
	40	80	-	4	-	5	[73, 74]
		$t_{\text{кип}}$	0,84	7	-	8	
	45	20	1,1	7	-	8	[14, 20]
		$t_{\text{кип}}$	-	9	-	10	
	60	80	-	8	-	-	[74]
		20	-	6	-	-	[14, 20]
		80	-	8	-	10	[73, 74]
Фтористоводнева кислота, HF	10	20	-	10	-	10	[14, 73]
		40	1,1	10	-	10	
	пара	100	1,1	10	-	10	
Хінін сірчаноокислий, $\text{C}_{20}\text{H}_{24}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$	-	20	-	9	-	-	[74]
Хлор, Cl	вологий	20	-	10	-	-	
Хлориста ртуть, HgCl_2	0,1	20	-	6	-	-	
Хлористе олово, SnCl_2	насич. розч.	$t_{\text{кип}}$	-	10	-	-	
Хлористий марганець, MnCl_2	50	100	-	9	-	-	
Хлористий цинк, ZnCl_2	-	20	-	6	-	8	[10, 20]
		$t_{\text{кип}}$	-	8	-	10	
Хлорне вапно, $\text{Ca}(\text{OCl})_2$	-	20	-	10	-	-	[74]
Хлорсульфонова кислота, HClSO_3	10	20	-	5	-	-	

Закінчення табл. Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Хромова кислота, H_2CrO_4	10	$t_{\text{кип}}$	-	7	-	-	
	50		-	10	-	-	
Цинк металевий, Zn	розплав	500	-	-	-	10	[20]
Царська горілка ($\text{HNO}_3:\text{HCl} = 1:3$)	-	20	-	-	-	10	
Щавлева кислота, $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	10	20	-	5	8		[20, 74]
		80	0,0254	4	-	5	
		$t_{\text{кип}}$	0,9	7	0,4226	6	
	20	80	0,0240	4	-	5	
Щавлева кислота, $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	20	$t_{\text{кип}}$	1,22	8	-	9	[74]
	30	80	0,32	6	-	5	
		$t_{\text{кип}}$	-	-	9	-	
	50	80	0,41	6	-	8	
		$t_{\text{кип}}$	-	10	-	10	
Яблучна кислота, $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$	5	80	-	5	-	8	

ДОДАТОК В

*Таблиця В.1. Корозійна стійкість сплавів Н70МФ (ЭП 814) і ХН65МВ (ЭП 567)
за десятибальною шкалою*

Корозійне середовище	Концентрація, %	Температура, °С	Швидкість корозії				Літературне джерело
			Н70МФ		ХН65МВ		
			мм/рік	бал	мм/рік	бал	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
Азотна кислота, HNO ₃	10...70	20	-	-	-	6	[18]
	10...40	70	-	-	-	8	
	50...70	70	-	-	-	8	
	10...40	<i>t</i> _{кип}	-	10	-	8	[77]
	50...70	<i>t</i> _{кип}	-	10	-	10	
Те саме під тиском	1...15	190	-	10	-	10	[17]
	20...70	190	-	10	-	-	
Алюміній солянокислий, AlHCl ₂	5	20	-	5	-	5	[11]
Алюміній хлористий, AlCl ₃	25	20	-	3	-	5	
	10...80	<i>t</i> _{кип}	-	5	-	-	[78]
Амід, NH ₂	-	130	-	5	-	5	[32]
Бензосульфонова кислота, C ₆ H ₅ SO ₃ H	-	100	0,011	4	0,006	3	[79]
Бромистоводнева кислота, HBr: пара	6	90...450	0,1	5	-	-	
Те саме, рідка фаза	40	<i>t</i> _{кип}	0,16	6	-	-	
Те саме, парова фаза		<i>t</i> _{кип}	0,3	6	-	-	
Те саме, під тиском 10 МПа	46	<i>t</i> _{кип}	-	6	-	-	
Бром вологий, Br	-	20	0,1	5	0,08	3	[22]
Бромна вода	1,0	20	-	-	-	5	[17]
Дихлорбензол, C ₆ H ₄ Cl ₂ + 4...5 % HCl	-	355	0,01	3	0,02	4	[80]
Залізо азотнокисле, Fe(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	-	<i>t</i> _{кип}	-	9	-	-	[17]
Залізо сірчанокисле закисле, FeSO ₄ ·7H ₂ O	10	20	-	-	-	3	[78]
		70	-	-	-	5	
Залізо сірчанокисле окисне, Fe ₂ (SO ₄) ₃ ·9H ₂ O	5...75	20	-	-	-	3	
		60	-	-	-	5	
Залізо хлористе, FeCl ₂ ·4H ₂ O	10	20	-	-	-	3	[17]
		70	-	-	-	5	
Залізо хлорне, FeCl ₃ ·6H ₂ O	5...75	20	-	9	-	3	
		60	-	-	-	5	
Йод, J	100	100	-	5	-	-	[78]
Йод технічний кристалічний	-	300	-	7	-	-	
Кетакарбонова кислота	98	50	-	5	-	5	
Кремнефтористоводнева кислота, H ₂ SiF ₆	1...15	40...50	-	-	-	5	
	20	40...50	-	-	-	6	
	10	70	-	-	1,7	8	[81]
	10...20	80	-	-	-	8	[78]
Мідь хлорна, CuCl ₂	8	20	-	10	-	5	[17]
		<i>t</i> _{кип}	-	-	-	10	
	Концентрована	20	-	-	-	5	
Метаклорнітробензол + хлорне залізо	3	80	-	7	-	5	[78]
Метиловий ефір метакрилової кислоти	20...30	95...120	-	5	-	-	
Метанольні маточники гексахлорану	-	50	-	6	-	5	
Мурашина кислота, HCOOH	10...60	65	-	6	-	4	[10]
Мурашина кислота, HCOOH	10...20	<i>t</i> _{кип}	-	5	-	6	[17]
	30...40		-	5	-	7	
	50		-	5	-	7	

1	2	3	4	5	6	7	8
Мурашина кислота, HCOOH	60	$t_{\text{кип}}$	-	5	-	7	[17]
	89		-	5	-	5	
Те саме під тиском	50	140	-	5	-	5	
	80		-	5	-	5	
Те саме з аерацією	95	70	-	-	0,3	6	[82]
Олово хлористе, SnCl ₂	-	50	-	5	-	5	[11, 17]
Оцтова кислота, CH ₃ COOH	50						[17]
	80						
Те саме, під тиском	98	165	-	5	-	5	
	Концентрована	$t_{\text{кип}}$	-	5	-	5	
Перхлоретилен, CCl ₂ = CCl ₂ + Cl ₂	-	250	-	-	0,0012	2	[18]
Ртуть хлорна, HgCl ₂	5	20	-	-	-	5	[10, 17]
Сірководень, H ₂ S (вологий)	-	200	-	4			[78]
	-	400	-	6			
Сірчана кислота, H ₂ SO ₄	1...3	$t_{\text{кип}}$	-	3	-	6	[17]
	10		0,08	5	0,85	7	
	20		-	5	-	8	
	25...50		-	5	-	9	
	55	95	0,07	5	-	-	[83]
		120	0,11	6	-	-	
	60	20	-	4	-	5	[17]
		70	-	5	-	8	
		$t_{\text{кип}}$	-	7	-	10	
	75	20	-	4	-	5	
		70	-	5	-	7	
		$t_{\text{кип}}$	-	9	-	10	
	80	70	-	5	-	6	
		$t_{\text{кип}}$	-	10	-	10	
		70	-	5	-	6	
	85	$t_{\text{кип}}$	-	10	-	10	
		93	-	8	-	8	
Те саме, під тиском	1...2	190	-	7	-	10	
	5		-	10	-		
	5		25	25	-		
Соляна кислота, HCl	1...2	20	-	2	-	2	[17]
		70	-	3	-	5	
		$t_{\text{кип}}$	-	6	-	8	
	5	20	-	3	-	3	
		70	-	5	-	6	
		$t_{\text{кип}}$	-	6	-	8	
	10	20	-	3	-	5	
		70	-	5	-	7	
		$t_{\text{кип}}$	-	6	-	9	
	20	20	-	4	-	5	
		70	-	5	-	8	
		$t_{\text{кип}}$	-	7	-	10	
21	$t_{\text{кип}}$	-	7	-	-	[11]	
Соляна кислота, HCl	25	20	-	3	-	5	[17]
		70	-	5	-	8	
		$t_{\text{кип}}$	0,5	7	-	-	[18]
	37	20	-	4	-	5	[17]
		70	-	7	0,26	10	[18]

1	2	3	4	5	6	7	8
Сульфоноуглецева кислота, CH ₃ CO ₂ HCO ₃	-	60...80	-	6	-	-	[78]
Суміші кислот, солей та інших хімічних речовин							
Азотна кислота + сірчана кислота + + вода	10	80	-	-	0,43	6	[83]
	30						
	60						
Азотна кислота + сірчана кислота + + соляна кислота	3...5	60	10	10	0,02	4	[18]
	15...20						
	1,5... 2,0						
Залізо хлорне + натрій хлористий	5	t _{кип}	-	10	-	5	[17]
	10						
Мідь сірчанооксида + натрій хлористий	1,0...2,0	70	-	-	0,2	6	[78]
	0,5...1,1						
Мурашина кислота + толуол	80	100	-	5	-	5	
	20						
Натрій азотнокислий + сірчана кислота	5	85	>10	10	-	5	
	10...18						
Олеум + HF: рідка фаза	Насичений розчин	108	-	8	-	-	
Те саме, газоподібна фаза				5			
Оцтова кислота + оцтовий ангідрид+ + перекиси	-	100	-	-	-	4.. ...5	
Сірка + хлористий алюміній (5 % від маси сірки)	-	розлав	-	8	-	-	
Сірчана кислота + залізо сірчаноокисле (закисне)	20	t _{кип}	0,15..... 0,25	6	0,12... ...0,22	6	
	5						
Сірчана кислота + залізо сірчаноокисле (закисне) + залізо сірчаноокисле (окисне)	20	t _{кип}	-	-	2,31	8	
	30						
	1						
Сірчана кислота + залізо сірчаноокисле (окисне)	30	t _{кип}	-	-	2,31	8	[83]
	4						
Сірчана кислота + залізо сірчаноокисле (закисне) + окис титану + сірчано-кислі солі Al, Cr, Mn	50	125	-	8	2,31	8	
	5						
	4						
Сірчана кислота + метилові ефіри жирних кислот	-	10	-	6	-	-	
Сірчана кислота + натрій хлористий	10	80	-	5	-	4	[10]
	5						
Сірчана кислота + натрій хлористий	10	t _{кип}	0,2	6	0,06	5	[78]
	5						
Сірчана кислота + натрій хлористий + натрій азотнокислий (травильний розчин)	20	80	-	-	0,08... ...0,036	5	
	2						
	2						
Те саме	20 + 2 + 2	t _{кип}	-	-	0,66	7	
Сірчана кислота + натрій хлористий+ + дво- та тривалентні солі заліза	10	60...80	-	6	-	3	
	10						
	2						
Сірчана кислота + нікель сірчаноокислий	28	110	-	5	-	5	
	40						
Сірчана кислота + соляна кислота + + вода	9	t _{кип}	0,12	6	-	-	[10]
	10						
	81						
Сірчана кислота +хромпик калієвий + + глюкоза	20	107	-	8	-	6	[10]

1	2	3	4	5	6	7	8
Сірчана кислота + хромпик калієвий + глюкоза	25 10	107	-	8	-	6	[10]
Соляна кислота + алюміній хлористий	5 5	$t_{\text{кип}}$	0,14... ...0,15	6	-	-	[83]
Соляна кислота + анілін + алюміній хлористий (p=1МПа)	5 3 4	300	-	5	-	-	[40]
Соляна кислота + залізо хлористе	1 0,8	80	-	7	-	6	
Соляна кислота + залізо хлористе	18 20	80	-	8	-	8	
Соляна кислота + залізо хлористе	18 22	80	1,96	8	1,95	8	[78]
Соляна кислота + марганець хлористий	20 40	75	-	3	-	6	
Сплав свинцю з 10 % натрію	-	300	-	9	-	-	
Спиртовий розчин з 25...30 %-вою соляною кислотою	-	40	0,58	5	-	-	[85]
Фенол + ацетон + толуол + тиогликолева кислота	-	60...80	-	6	-	-	[78]
Фосфорний ангідрид + крем'янистофториста кислота + соляна кислота + сірчана кислота	32 1 2 2	90	-	7	-	5	[10]
Фтористоводнева кислота + крем'янистофтористоводнева кислота	22,5 35	43,5	0,15	6	0,20	6	[82]
Фтористоводнева кислота + фосфорна кислота + сірчана кислота	3 45 5	50	-	4	-	5	
Фтористоводнева кислота + фосфорна кислота + сірчана кислота	1 25 2	80	-	8	-	9	[78]
Фтористоводнева кислота + фосфорна кислота + сірчана кислота	Сліди 30 50	140	-	9	-	10	
Сурма хлориста, SbCl_3	За будь-якої концентрації	20	-	5	-	-	
Трихлорцтова кислота, CCl_3COOH	Те саме		-	-	-	5	
Фосфорна кислота, H_3PO_4	50...60 61...70 71...80 85	$t_{\text{кип}}$	- - - -	5 6 6 7	- - - -	5 6 6 8	[17]
Фтористоводнева кислота, HF	5 10 10 25 30 30 45	20 70 95 2 70 95 20	- - - - - - -	4 6 7 6 7 8 5	- - - - - - -	5 7 8 6 7 8 5	
Фтористоводнева кислота, HF	45 Сухий газ	100	- -	- -	- -	- -	[17]
Хлор, Cl, вологий з умістом води:	0,4 4,0	100	- -	3 4	- -	4 5	[78]

1	2	3	4	5	6	7	8	
Хлор, Cl, вологий з умістом води:	15,0	100	-	7	-	3	[78]	
	22,0		-	8	-	9		
Хлор безводний	-	300	0,19	6	1,19	6	[87]	
	-	400	3,68	8	-	-		
	-	500	5,46	9	5,32	9		
Хлору диоксид, ClO ₂	-	45	-	-	-	6	[17]	
Хлористий амоній, NH ₄ Cl	25	t _{кип}	-	-	-	3		
	Насичений		-	-	-	5		
	Будь-якої концентрації	140... ...144	-	5	-	-	[18]	
Хлористий барій, BaCl ₂	25	100	-	-	-	5	[11]	
Хлористий метил, CH ₃ Cl	-	80	-	6	-	-	[17]	
Хлористий цинк, ZnCl ₂	68	t _{кип}	-	5	-	5		
Хлорнуватистокислий кальцій (гіпохлорит кальцію), Ca(OC1) ₂ ·4H ₂ O	3 % вільного хлору	20	-	-	-	4	[17]	
		70	-	-	-	8		
Хлороцтова кислота, CH ₃ COOC1	10...50	20	-	5	-	5		
	Концентрована	20	-	6	-	5		
		t _{кип}	0	10	-	10		
Хлорна кислота, HClO ₄	1...2	20	-	2	-	3		
		70	-	3	-	5		
		t _{кип}	-	6	-	8		
	5	20	-	2	-	3		
		70	-	6	-	6		
		t _{кип}	-	7	-	8		
	15	20	-	3	-	4		
		70	-	6	-	7		
		t _{кип}	-	7	-	10		
	20	20	-	3	-	5		
		70	-	7	-	7		
		t _{кип}	-	8	-	8		
	25	20	-	4	-	4		
		70	-	7	-	7		
	37	20	-	4	-	4		
		70	-	7	-	7		
	Хлорнувата кислота, H ₂ C1O ₃	1...2	20	-	2	-	3	[11]
			70	-	6	-	6	
t _{кип}			-	7	-	8		
5		20	-	3	-	6		
		70	-	6	-	8		
		t _{кип}	-	7	-	4		
10		20	-	4	-	3		
		70	-	6	-	7		
		t _{кип}	-	7	-	9		
15		20	-	4	-	5		
		70	-	6	-	8		
		t _{кип}	-	7	-	10		
20		20	-	4	-	5		
		70	-	6	-	7		
		t _{кип}	-	7	-	10		
25		20	-	5	-	5	[17]	
		70	-	7	-	8		
Щавлева кислота, H ₂ C ₂ O ₄		10...50	20	-	3	-		3
	t _{кип}		-	5	-	5		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Химушин Ф. Ф.* Нержавеющие стали: изд. 2-е, перераб. и доп. / Ф. Ф. Химушин. – М.: Металлургия, 1967. – 798 с.
2. *Химушин Ф. Ф.* Жаропрочные стали и сплавы: изд. 2-е, перераб. и доп. / Ф. Ф. Химушин. – М.: Металлургия, 1969. – 749 с.
3. *Туфанов Д. Г.* Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов / Д. Г. Туфанов. – М.: Металлургия, 1982. – 352 с.
4. *Ульянин Е. А.* Коррозионностойкие стали и сплавы: изд. 2-е, перераб. и доп. / Е. А. Ульянин. – М.: Металлургия, 1991. – 256 с.
5. *ГОСТ 977–88.* Отливки стальные. Общие технические условия.
6. *ГОСТ 5632–72.* Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки.
7. *ГОСТ 6032–89.* Стали и сплавы коррозионностойкие. Методы испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии.
8. *РД РТМ 26-07-225–79.* Конструкционные материалы для деталей аппаратуры, работающей в средах химической промышленности.
9. *Коррозионная и химическая стойкость материалов: справочник* / под ред. Доллежале Н. А. – М.: Машгиз, 1954. – 570 с.
10. *Туфанов Д. Г.* Новые коррозионностойкие стали и сплавы / Д. Г. Туфанов. – М.: Черметинформация, 1966. – 290 с.
11. *Туфанов Д. Г.* Защита металлов: справочник / Д. Г. Туфанов. – М.: Металлургия, 1973. – 351 с.
12. *Бабаков А. А.* Коррозионностойкие стали и сплавы / А. А. Бабаков, М. В. Приданцев. – М.: Металлургия, 1971. – 320 с.
13. *Бабаков А. А.* Нержавеющие стали, свойства и химическая стойкость в различных агрессивных средах / А. А. Бабаков. – М.: Госхимиздат, 1956. – 130 с.
14. *Батраков В. П.* Коррозия конструкционных материалов в агрессивных средах: справочник / В. П. Батраков. – М.: Оборонгиз, 1952. – 452 с.
15. *Коломбье Л.* Нержавеющие и жаропрочные стали / Л. Коломбье, Н. Гохман; пер. с франц. – М.: Металлургиздат, 1958. – 179 с.
16. *Шварц Г. Л.* / Г. Л. Шварц, М. М. Кристаль // Защита металлов. – 1965. – Т. 1, № 2. – С. 137–149.
17. *Туфанов Д. Г.* Коррозионная стойкость некоторых никель-молибденовых и хромоникелевых нержавеющей сталей в хлоридах и других агрессивных средах / Д. Г. Туфанов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1964. – № 11. – С. 42–46.
18. *Дятлова В. Н.* Коррозионная стойкость металлов и сплавов: справочник / В. Н. Дятлова. – М.: Машиностроение, 1964. – 352 с.
19. *Промышленное освоение сталей с пониженным содержанием никеля* / В. П. Егоров, Б. И. Круглов, В. М. Брусенцова и др. // Химическая промышленность. – 1964. – № 7. – С. 61–67.
20. *Бабаков А. А.* Новые материалы и сплавы для машиностроительной промышленности: ВИНТИ / А. А. Бабаков // Передовой научно-технический производственный опыт. – 1961. – Вып. 7. – 24 с.
21. *Туфанов Д. Г.* Коррозионная стойкость нержавеющей сталей / Д. Г. Туфанов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1963. – № 7. – С. 33–40.

22. *Ritter F. Korrosionstabellen matllischer Werkstoffe / F. Ritter. – Wien: Springer-Verlag, 1958. – 290 s.*
23. *Morgan M. H. / M. H. Morgan // Chem. Eng. – 1950. – № 8. – P. 197–200.*
24. *Воробьёва Г. Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств / Г. Я. Воробьёва. – М.: Химия, 1975. – 816 с.*
25. *Stainless and Heat Resisting Steels. – Pittsburgh: United States Steel Corp., 1957.*
26. *Абалян Н. П. Коррозионные испытания некоторых конструкционных материалов в среде алюмоаммиачных квасцов / Н. П. Абалян, Р. А. Кропивницкая // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1966. – № 5. – С. 17.*
27. *Баранник В.П. Краткий справочник по коррозии. Химическая стойкость материалов / В. П. Баранник. –М.–Л.: Госхимиздат, 1953. – 456 с.*
28. *Коррозионное поведение металлических материалов в условиях упарки растворов сернистого натрия / Л. А. Полубоярцева, А. А. Рейфер, В. Д. Осинцев и др. // Химическая промышленность. – 1977. – № 1. – С. 38–39.*
29. *Коррозионная стойкость материалов в промышленных средах установки по получению роданистого аммония / Е. И. Громов, А. В. Карюкин, Л. Д. Петухова, А. Б. Меликенцов // Кокс и химия. – 1969. – № 7. – С. 51–54.*
30. *Зезянов С. П. Коррозия хромоникелевых сталей в парах хлористого аммония / С. П. Зезянов, А. В. Калугина // Защита металлов. – 1975. – Т. XI, № 1. – С. 53–54.*
31. *Бабаков А. А. Коррозия сталей в атмосферных условиях / А. А. Бабаков, Д. Г. Туфанов // Журнал прикладной химии. – 1960. – Т. XXXIII, Вып. 6. – С. 1334–1340.*
32. *Бульдукян А. М. / А. М. Бульдукян, В. Н. Овчян // Промышленность Армении. – 1970. – № 12. – С. 56–57.*
33. *Антоновская Э. И. Коррозия металлических материалов в водных растворах фторидов при повышенных температурах / Э. И. Антоновская, Л. В. Тахтарова // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева – 1961. – Т. 6, № 4. – С. 477–478.*
34. *Тавадзе Ф. Н. Коррозия и защита металлов в минеральных водах Грузии. Ч. 1. / Ф. Н. Тавадзе, С. Н. Манжагаладзе. – Тбилиси: Изд-во. АН Грузинской ССР. – 1956. – 199 с.*
35. *Бабаков А. А., Улановский А. Б., Туфанов Д. Г., Коровин Ю. М. Исследования по коррозии металлов: науч. тр. / ИФХАН. М.: Изд-во АН СССР, 1960. – С. 345–353.*
36. *Бабаков А. А., Туфанов Д. Г. Труды Всесоюзного совещания по борьбе с морской коррозией металлов. – Баку: Азербайджаниздат, 1958. – С. 148–173.*
37. *Фёдоров Е. А. Коррозия меди и сталей в сточных водах / Е. А. Фёдоров // Гидролизная и лесохимическая промышленность. – 1970. – № 2. – С. 28.*
38. *Коррозия материалов в промышленных сточных водах / Х. Л. Цейтлин, Ю. И. Сорокин, М. М. Глейзер и др. // Химическая промышленность. – 1973. – № 31. – С. 44–46.*
39. *Бабаков А. А., Туфанов Д. Г. Специальные стали и сплавы: науч. тр. // ЦНИИЧМ. – М.: Metallurgizdat, 1960. – № 17. – С. 311–321.*
40. *Шукуров Б. Р., Завьялова Э. П., Иоаннидис О. К. // Узбекский химический журнал. – 1968. – № 5. – С. 59–61.*
41. *Бабаков А. А., Туфанов Д. Г. // Специальные стали и сплавы: науч. тр. // ЦНИИЧМ. – М.: Metallurgizdat, 1960. – № 17. – С. 184–203.*
42. *Коррозия сталей горячими растворами щелочей под давлением / Х. Л. Цейтлин, Н. К. Курченинова, С. М. Бабицкая, А. А. Бабаков // Химическая промышленность. – 1954. – № 7. – С. 54–56.*
43. *Гинзбург В. И. Коррозионная стойкость металлов в йоде и йодсодержащих средах / В. И. Гинзбург, О. И. Кабакова // Защита металлов. – 1969. – № 6. – С. 627–632.*

44. *Bienstock D.* Corrosion Inhibitors for Hot-Carbonate Systems / D. Bienstock, J. H. Field // Corrosion. – 1961. – Vol. 17, N 9. – P. 53–56.
45. *Гурович Е. И.* Действие расплавленных галогенидов на никель, медь, железо и некоторые стали / Е. И. Гурович // Журнал прикладной химии. – 1960. – Т. XXXIII, вып. 9. – С. 2096–2101.
46. *Анучин П. И.* Коррозия металлов и сплавов в канифоли / П. И. Анучин, А. И. Фирсов // Гидролизная и лесохимическая промышленность. – 1967. – № 5. – С. 23–24.
47. *Лабутин А. Л.* Коррозия металлов в канифоли при высокой температуре / А. Л. Лабутин, Ю. П. Рожков // Химическое машиностроение. – 1963. – № 6. – С. 26.
48. *Туфанов Д. Г.* Травление металлов и их сплавов: Передовой научно-технический и производственный опыт. – М.: ВИНТИ, 1958. – 16 с.
49. *Уваров Е. В.* Коррозионная стойкость нержавеющей сталей и сплавов в кремнефтористоводородной кислоте / Е. В. Уваров, В. А. Копылов // Химическая промышленность. – 1968. – № 1. – С. 44–45.
50. *Токарева Т. Б.* Коррозионная стойкость конструкционных материалов в хлористом литии / Т. Б. Токарева, В. В. Смолин // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1974. – № 2. – С. 23.
51. *Романов В. В.* Коррозионное растрескивание / В. В. Романов. – М.: Машгиз, 1960. – 179 с.
52. *Туфанов Д. Г.* Коррозионное растрескивание нержавеющей сталей / Д. Г. Туфанов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1964. – № 4. – С. 15–18.
53. *Воробьева М. А., Клинов И. Я.* // Коррозия химической аппаратуры: науч. тр. МИХМ. – М.: Машиностроение, 1964. – С. 55–69.
54. *Захарочкин Л. Д., Муратова Г. Л.* // Защита от коррозии оборудования для переработки нефти: науч. тр. ГИПРОнефтемаш. – М.: Недра, 1964. – № 2. – С. 12–16.
55. *Авдеева А. В., Сосновский Л. Б., Цыканова П. А.* // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. – 1959. – № 7. – С. 7–8.
56. *Баканов С. И.* Коррозионная стойкость металлов и металлических покрытий в кондитерских средах / С. И. Баканов, С. В. Генель. – М.: ЦИНТИПищепром, 1962. – 32 с.
57. *Аллахвердиев Г. А., Муталлимов М. Д., Байрамов Б. Г.* // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 1970. – № 2. – С. 34–36.
58. *Левин И. А., Кильчевская Т. Е.* // Защита от коррозии оборудования при переработке нефти: науч. тр. ГИПРОНефтемаш. – М.: Недра, 1964. – № 2. – С. 41–44.
59. *Кузюков А. Н.* Пути снижения коррозии некоторых сталей при воздействии сернистых соединений дымовых газов / А. Н. Кузюков, Л. В. Зайцева // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1970. – № 3. – С. 20–21.
60. *Цейтлин Х. Л.* Коррозия металлов в расплавленной пятиокиси ванадия / Х. Л. Цейтлин, Т. Д. Зальцман // Теплоэнергетика. – 1968. – № 1. – С. 57–59.
61. *Абабков В. Т., Гинзбург В. И., Волков Ю. К.* // Специальные стали и сплавы: науч. тр. ЦНИИЧМ. – М.: Металлургия, 1970. – № 77. – С. 72–76.
62. *Сошникова Л. А.* Коррозия высоколегированных сталей в среде расплавленного олова / Л. А. Сошникова, В. А. Пайкин // Цветные металлы. – 1969. – № 2. – С. 75.
63. *Таблицы коррозионной стойкости сталей с пониженным содержанием никеля марок 0Х22Н5Т (ЭП53) и 0Х21Н6М2Т (ЭП 54)* / под ред. В. Д. Шипилова – М.: НИИХиммаш, 1969. – 100 с.
64. *Цейтлин Х. Л.* / Коррозия металлов сероводородом при низкой температуре / Х. Л. Цейтлин, Л. В. Мерзлоухова, В. А. Струнkin // Журнал прикладной химии. – 1957. – Т. XXX, № 10. – С. 1553–1558.

65. Михалюк Г. Ф. Коррозия различных металлов и сплавов в отстойной и растворимой древесной смоле / Г. Ф. Михалюк, П. И. Анучин // Гидролизная и лесохимическая промышленность. – 1968. – № 2. – С. 19–20.
66. Меандров Л. В. Двухслойные коррозионностойкие стали / Л. В. Меандров. – М.: Металлургия, 1970. – 228 с.
67. Цирельников В. И. Корродирующее действие паров тетрахлорида циркония на сталь 1X18H9T и никель при высоких температурах / В. И. Цирельников, Л. Н. Комисарова, В. И. Спицын // Атомная энергия. – 1962. – Т. 13, Вып. 1. – С. 51–53.
68. Коррозия конструкционных материалов в водных растворах трифторуксусной кислоты / Е. А. Ганкин, Г. В. Бахмутова, Н. Л. Семёнова и др. // Защита металлов. – 1974. – Т. X, № 4. – С. 417–418.
69. Захарочкин Л. Д., Борисова Л. Г. // Защита от коррозии оборудования для переработки нефти: науч. тр. ГИПРОНефтемаш. – М.: Недра, 1964. – № 2. – С. 17–20.
70. Уткина Н. А. Коррозионная стойкость некоторых материалов в треххлористом фосфоре и хлорокиси фосфора / Н. А. Уткина, В. В. Ларин // Защита металлов. – 1968. – Т. IV, № 5. – С. 576–578.
71. Коррозионная стойкость металлов и сплавов в кипящих хлоридах ванадия / К. В. Третьякова, С. И. Тимофеев, Ю. А. Райков, Л. А. Абрамов // Защита металлов. – 1978. – Т. XIV, № 4. – С. 492–493.
72. Взаимодействие металлов с фреоном-11 при повышенных температурах / В. Н. Лисов, А. П. Ляпин, А. Д. Харчишин, Л. П. Серкова // Украинский химический журнал. – 1974. – № 12, С. 1264–1268.
73. Материалы в машиностроении: справочник в 5 т. / под ред. Ф. Ф. Химушина. – М.: Машиностроение, 1968. – 446 с. – Т.3: Специальные стали и сплавы. – 1968. – 446 с.
74. Новая хромомарганцовоникелевая сталь 0X18Г8H2T (КО-3) // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1970. – № 3. – С. 39–41.
75. Зедгинидзе Л. Н. Коррозионная стойкость экономно легированных сталей в производственных растворах карбамида / Л. Н. Зедгинидзе, Т. М. Двали, Э. И. Бахтадзе // Защита металлов. – 1974. – Т. X, № 5. – С. 555–557.
76. Коррозионная стойкость материалов в условиях производства сернистого натрия / Л. А. Полубоярцева, А. А. Рейфер, Т. М. Манторова и др. // Химическая промышленность. – 1966. – № 3. – С. 70–73.
77. Bishop C. R. Corrosion Tests at Elevated Temperatures and Pressures / C. R. Bishop // Corrosion. – 1963. – Vol. 19, N 9. – P. 308t–314t.
78. Свистунова Т. В. Коррозионностойкие сплавы 0H70M27Ф и 0X15H65M16B / Т. В. Свистунова, Д. Г. Туфанов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1971. – № 9. – С. 39–42.
79. Коррозия новых металлических конструкционных материалов в бромистоводородной кислоте и ее парах / В. Н. Долинкин, Г. Л. Шварц, Е. Ф. Кудрявцева и др. // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1971. – № 10. – С. 17.
80. Gerner P. J. The corrosion resistance of Titanium and Zirconium in chemical plant exposutes / P. J. Gerner, W. L. Wilson // Fifteenth annual conference 1959. – Preprint paper № 49.
81. Бозин Н. А. Коррозионная стойкость металлов и сплавов в кремнефтористоводородной кислоте / Н. А. Бозин, М. М. Успенская, Г. А. Максудов // Защита металлов. – 1969. – Т. V, № 6. – С. 668–671.
82. Тодт Ф. Коррозия и защита от коррозии: пер. с нем. / Ф. Тодт. – М.–Л.: Химия, 1966. – 847 с.

83. *Анучин П. И., Чащин А. М.* Коррозия и способы защиты оборудования лесохимических производств: справочник. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 392 с.
84. *Клинов И. А., Воробьёва М. А.* Коррозия химической аппаратуры: науч. тр. МИХМ. – М.: Химиздат, 1975. – Вып. 67. – С. 41–47.
85. *Усачева Р. И.* Коррозия некоторых металлических материалов в растворах хлористого водорода в этиловом спирте / Р. И. Усачева, М. Л. Рутковский // Защита металлов. – 1967. – Т. 3, № 2. – С. 222.
86. *Мигай Л.Л.* Коррозионная стойкость материалов в хлоре и его соединениях: справочник / Л. Л. Мигай, Т. А. Тарицына. – М.: Металлургия, 1976. – 119 с.
87. *Андреев І.А., Зубрій О.Г., Мікульонок І.О.* Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. Сталі й чавуни : навч. посіб. Київ : ІЗМН, 1999. 148 с.
88. *Андреев І.А., Мікульонок І.О.* Розрахунок, конструювання та надійність обладнання хімічних виробництв : термінологічний словник. Київ : ІВЦ «Політехніка», 2002. 216 с.
89. *Мікульонок І.О.* Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2010. 412 с.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ.....	4
1. КОРОЗІЙНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЧИСТИХ МЕТАЛІВ	5
2. КОРОЗІЙНОСТІЙКІ, ЖАРОМІЦНІ, ЖАРОСТІЙКІ НЕІРЖАВКІ СТАЛІ І СПЛАВИ	12
3. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ НЕІРЖАВКИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ	19
4. КОРОЗІЙНЕ РУЙНУВАННЯ НЕІРЖАВКИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ	23
4.1. Загальні відомості.....	23
4.2. Хромисті сталі та міжкристалітна корозія.....	35
4.3. Хромонікелеві сталі та міжкристалітна корозія.....	37
4.4. Хромонікелеві сталі з титаном і міжкристалітна корозія.....	38
4.5. Хромонікелеві сталі з ніобієм і міжкристалітна корозія	39
4.6. Методи контролю корозійностійких сталей на схильність до міжкристалітної корозії.....	39
4.6.1. Основні методи	39
4.6.2. Додаткові методи	43
5. ГАЗОВА КОРОЗІЯ НЕІРЖАВКИХ СТАЛЕЙ В АТМОСФЕРІ ГАРЯЧОГО ПОВІТРЯ ЗА ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР	46
5.1. Окиснення та протидія йому неіржавких сталей	46
5.2. Уплив легувальних елементів на окалиностійкість неіржавких сталей	49
5.3. Корозія високолегованих сталей і сплавів у газових середовищах за високих температур.....	52
5.4. Газова корозія в атмосфері азоту	53
5.5. Газова корозія в топкових газах	54
5.6. Корозія в атмосфері газів, що містять сірку	55
5.7. Газова корозія в атмосфері водяної пари	57
6. ХОЛОДНЕ ОБРОБЛЕННЯ ТА ОПІРНІСТЬ КОРОЗІЇ НЕІРЖАВКИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ	60
7. ВИПЛАВКА ТА КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ НЕІРЖАВКИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ	63
8. ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ НЕІРЖАВКИХ СТАЛЕЙ ОЗДОБЛЮВАЛЬНИМ ОБРОБЛЕННЯМ ПОВЕРХОНЬ ЗАГОТОВАНОК І ДЕТАЛЕЙ	65
9. ЗАСТОСУВАННЯ КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ, ЖАРОСТІЙКИХ, ЖАРОМІЦНИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ ЗГІДНО З ГОСТ 5632–72.....	72
9.1. Призначення корозійностійких сталей і сплавів першої групи.....	72
9.2. Призначення жаростійких сталей і сплавів другої групи.....	76
9.3. Призначення жароміцних сталей і сплавів третьої групи	77
10. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРМЕТРИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПРОКАТУ З НЕІРЖАВКИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ.....	81
10.1. Хромисті сталі	82
10.1.1. Сталь 08X13 (ЭИ496)	83
10.1.2. Сталь 12X13.....	85
10.1.3. Сталь 20X13.....	87
10.1.4. Сталі 30X13, 40X13	88
10.1.5. Сталі 12X17, 08X17T (ЭИ 645), 08X18Tч (ДИ77)	90

10.1.6. Сталь 015X18M2Б (ЭП882)	93
10.1.7. Сталь 15X25Т (ЭИ439)	94
10.1.8. Сталь 15X28 (ЭИ349)	96
10.1.9. Сталь 95X18 (ЭИ229)	07
10.1.10. Сталь 01X25ТБЮ-ВИ (ЧС76-ВИ)	98
10.2. Хромонікелеві сталі	100
10.2.1. Сталі 12X18Н9, 17X18Н9	101
10.2.2. Сталі 12X18Н10Т, 12X18Н9Т	103
10.2.3. Сталь 08X18Н10Т (ЭИ914)	106
10.2.4. Сталь 08X18Н12Б (ЭИ402)	106
10.2.5. Сталь 03X18Н11	108
10.3. Хромомарганцеві та хромомарганцевонікелеві аустенітні сталі	109
10.3.1. Сталь 10X14Г14Н4Т (ЭИ711)	110
10.3.2. Сталь 10X14ГАГ15 (ДИ13)	112
10.3.3. Сталь 10X13Г18Д (ДИ61)	113
10.3.4. Сталь 20X13Н4Г9 (ЭИ100)	114
10.3.5. Сталь 12X17Г9АН4 (ЭИ878)	115
10.3.6. Сталь 07X21Г7АН5 (ЭП222)	116
10.3.7. Сталь 03X13АГ19 (ЧС36)	118
10.3.8. Сталь 03X20Н16АГ6)	120
10.4. Хромонікелеві та інші сталі аустенітно-феритного класу	122
10.4.1. Сталь 08X22Н6Т (ЭП53)	123
10.4.2. Сталь 03X23Н6 (ЭИ68)	125
10.4.3. Сталь 08X21Н6М2Т (ЭП54)	127
10.4.4. Сталь 03X22Н6М2 (ЭИ67)	129
10.4.5. Сталь 08X18Г8Н2Т (КО-3)	130
10.4.6. Сталь 03X24Н6М3 (ЗИ130)	132
10.5. Високолеговані сталі та сплави на основі заліза	133
10.5.1. Сталі 08X17Н13М2Т, 10X17Н13М2Т (ЭИ448), 10X17Н13М3Т (ЭИ432), 08X 17Н15М3Т (ЭП580)	134
10.5.2. Сталь 03X17Н14М3	136
10.5.3. Сталь 02X8Н22С6 (ЭП794)	137
10.5.4. Сталь 03X21Н21М4ГБ (ЭИ35)	139
10.5.5. Сплав 06ХН28МДТ (ЭИ943)	141
10.5.6. Сплав 03ХН28МДТ (ЭП516)	143
10.5.7. Сталь 03X18Н20С3М3ДЗБ (ЭП667)	144
10.6. Високоміцні сталі та сплави	146
10.6.1. Сталь 07X16Н6 (ЭП288)	147
10.6.2. Сталь 09X15Н8Ю (ЭИ904)	148
10.6.3. Сталь 08X17Н5М3 (ЭИ925)	150
10.6.4. Сталь 04X25Н5М2 (ДИ62)	152
10.6.5. Сплав ХН40МДТЮ (ЭП543)	153
10.7. Корозійностійкі сплави на нікелевій основі для високоагресивних середовищ	155
10.7.1. Сплави Н70МФВ-ВИ (ЭП814-ВИ), Н65М-ВИ (ЭП982-ВИ), Н70М-ВИ (ЭП945-ВИ)	158
10.7.2. Сплав ХН58 (ЭП795)	161
10.7.3. Сплави ХН65МВ (ЭП567), ХН65МВУ (ЭП760)	163

11. КОРОЗІЙНОСТІЙКІ БІМЕТАЛИ І БАГАТОШАРОВІ МАТЕРІАЛИ.....	166
11.1. Особливості корозійностійких біметалів.....	166
11.2. Номенклатура біметалевого прокату.....	169
11.3. Сталь листова гарячекатана двошарова корозійностійка (ГОСТ 10885–85).....	170
11.4. Сталь листова двошарова, виготовлена зварюванням вибухом (ТУ 14-1-2667–82)	172
11.5. Сталь листова гарячекатана двошарова корозійностійка завтовшки 65...120 мм (ТУ 14-1-2726–79)	172
11.6. Сталь листова тришарова корозійностійка (ТУ 14-1-3048–81)	173
12. ЛИВАРНІ НЕІРЖАВКІ (КОРОЗІЙНОСТІЙКІ) СТАЛІ.....	174
12.1. Застосування ливарних неіржавких сталей	175
12.1.1. Сталі мартенситного класу	175
12.1.2. Сталі мартенситно-феритного класу.....	176
12.1.3. Сталі феритного класу.....	176
12.1.4. Сталі аустенітно-мартенситного класу.....	176
12.1.5. Сталі аустенітно-феритного класу	177
12.1.6. Сталі аустенітного класу.....	178
12.2. Режими термічного оброблення ливарних сталей	180
12.2.1. Сталі мартенситного класу	180
12.2.2. Сталі мартенситно-феритного класу.....	181
12.2.3. Сталь феритного класу	181
12.2.4. Сталі аустенітно-мартенситного класу.....	181
12.2.5. Сталі аустенітно-феритного класу	181
12.2.6. Сталі аустенітного класу.....	182
13. ЗБЕРІГАННЯ НЕІРЖАВКИХ СТАЛЕЙ	185
14. НОРМАТИВНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ РД РТМ 26-07-225–79 ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ У ХІМІЧНОМУ МАШИНО- ТА АПАРАТОБУДУВАННІ	186
Запитання для самоконтролю.....	217
ДОДАТОК А. Корозійна стійкість безмарганцевих неіржавких сталей в різних агресивних середовищах за десятибальною шкалою.....	218
ДОДАТОК Б. Корозійна стійкість хромомарганцевонікелевих сталей за десятибальною шкалою	246
ДОДАТОК В. Корозійна стійкість сплавів Н70МФ (ЭП814) і ХН65МВ (ЭП567) за десятибальною шкалою	251
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	256

Навчальне видання

Доброногов Віктор Григорович
Мікульонок Ігор Олегович

**ЗАСТОСУВАННЯ КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ,
ЖАРОСТІКИХ, ЖАРОМІЦНИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ
У ХІМІЧНОМУ МАШИНО- ТА АПАРАТОБУДУВАННІ**

Навчальний посібник

Комп'ютерна правка та верстка – *авторські*